

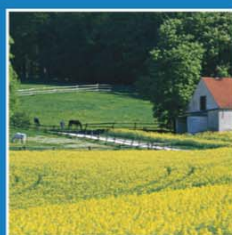
Stefan Bringezu  
Thomas Hanke  
Helmut Schütz  
Ole Soukup  
Peter Viebahn  
Manfred Fishedick (AP-Leitung)

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

## Indikatoren / Bottom-up-Modelle und Szenarien

### Abschlussbericht zu AP6

Abschlussbericht des Arbeitspakets 6 des Projekts  
„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)



## Kontakt zu den Autor(inn)en:

Dr. Stefan Bringezu (für AS6.1)

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH  
Döppersberg 19, 42103 Wuppertal

Tel.: +49 (0) 202 2492 -131, Fax: -138

Mail: [stefan.bringezu@wupperinst.org](mailto:stefan.bringezu@wupperinst.org)

Dr. Peter Viebahn (für AS6.2)

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH  
Döppersberg 19, 42103 Wuppertal

Tel.: +49 (0) 202 2492 -306, Fax: -198

Mail: [peter.viebahn@wupperinst.org](mailto:peter.viebahn@wupperinst.org)

## „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes) – Projekt im Auftrag des BMU | UBA

**Projektlaufzeit:** 07/2007 – 12/2010

### Projektleitung:

Dr. Kora Kristof / Prof. Dr. Peter Hennicke

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH  
42103 Wuppertal, Döppersberg 19

Tel.: +49 (0) 202 2492 -183 / -136, Fax: -198 / -145

Mail: [kora.kristof@wupperinst.org](mailto:kora.kristof@wupperinst.org)

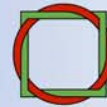
[peter.hennicke@wupperinst.org](mailto:peter.hennicke@wupperinst.org)

© Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

Weitere Informationen zum Projekt

„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)

finden Sie unter **[www.ressourcen.wupperinst.org](http://www.ressourcen.wupperinst.org)**



**Wuppertal Institut**  
für Klima, Umwelt, Energie  
GmbH

### Wuppertal Institut in Kooperation mit

BASF  
Borderstep  
CSCP  
Daimler  
demea – VDI / VDE-IT  
ECN  
EFA NRW  
FhG IAO  
FhG UMSICHT  
FU Berlin  
GoYa!  
GWS  
Hochschule Pforzheim  
IFEU  
Institut für Verbraucherjournalismus  
IÖW  
IZT  
MediaCompany  
Ökopol  
RWTH Aachen  
SRH Hochschule Calw  
Stiftung Warentest  
ThyssenKrupp  
Trifolium  
TU Berlin  
TU Darmstadt  
TU Dresden  
Universität Kassel  
Universität Lüneburg  
ZEW

Gefördert wird das Vorhaben im Rahmen des UFOPLAN  
durch das BMU und das UBA, Förderkennzeichen: 3707 93 300

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung  
liegt bei den Autor(inn)en.



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

**Umwelt  
Bundes  
Amt**   
Für Mensch und Umwelt

## **Abschlussbericht des AP6 „Indikatoren / Bottom-up-Modelle und Szenarien“**

### **Inhaltsverzeichnis**

- A. **Ressourceneffizienzpaper 6.5: „Indikatoren / Bottom-up-Modelle und Szenarien“**  
(deutsche Zusammenfassung, Dezember 2010)
- B. **Ressourceneffizienzpaper 6.6: „Indicators / Bottom-Up Models and Scenarios, Executive Summary** (Englische Zusammenfassung, Dezember 2010)
- C. **Ressourceneffizienzpaper 6.2: „Material Use Indicators for Measuring Resource Productivity and Environmental Impacts“**, Workshop – Berlin, 25-26 February 2010, Final report (Abschlussbericht zu AS6.1; Dezember 2010)
- D. **Ressourceneffizienzpaper 6.1: „Material Use Indicators for Measuring Resource Productivity and Environmental Impacts“**, Workshop – Berlin, 25-26 February 2010, Background paper (Meilensteinpapier zu AS6.1; Oktober 2010)
- E. **Ressourceneffizienzpaper 6.4: „Bottom-up Wirkungsanalyse-Modell“** (Abschlussbericht zu AS6.2, Dezember 2010)
- F. **Ressourceneffizienzpaper 6.3: „Übertragbarkeit des Bottom-Up Wirkungsanalyse-Modells auf andere Bedarfsfelder**, Meilensteinpapier in Arbeitsschritt 6.2 (Dezember 2010)





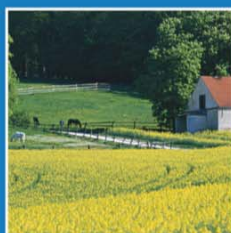
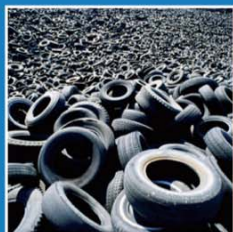
**Stefan Bringezu**  
**Thomas Hanke**  
**Helmut Schütz**  
**Ole Soukup**  
**Peter Viebahn**  
**Manfred Fishedick (AP-Leitung)**

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

## **Indikatoren / Bottom-up-Modelle und Szenarien**

### **Zusammenfassung**

Zusammenfassung der Ergebnisse des Arbeitspakets 6 des Projekts „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)



Wuppertal, Dezember 2010

ISSN 1867-0237

## Kontakt zu den Autor(inn)en:

Dr. Stefan Bringezu (für AS6.1)

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH  
Döppersberg 19, 42103 Wuppertal

Tel.: +49 (0) 202 2492 -131, Fax: -138

Mail: [stefan.bringezu@wupperinst.org](mailto:stefan.bringezu@wupperinst.org)

Dr. Peter Viebahn (für AS6.2)

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH  
Döppersberg 19, 42103 Wuppertal

Tel.: +49 (0) 202 2492 -306, Fax: -198

Mail: [peter.viebahn@wupperinst.org](mailto:peter.viebahn@wupperinst.org)

## „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes) – Projekt im Auftrag des BMU I UBA

**Projektlaufzeit:** 07/2007 – 12/2010

### Projektleitung:

Dr. Kora Kristof / Prof. Dr. Peter Hennicke

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH  
42103 Wuppertal, Döppersberg 19

Tel.: +49 (0) 202 2492 -183 / -136, Fax: -198 / -145

Mail: [kora.kristof@wupperinst.org](mailto:kora.kristof@wupperinst.org)  
[peter.hennicke@wupperinst.org](mailto:peter.hennicke@wupperinst.org)

© Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

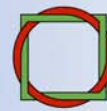
Weitere Informationen zum Projekt

„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)

finden Sie unter **[www.ressourcen.wupperinst.org](http://www.ressourcen.wupperinst.org)**

Gefördert wird das Vorhaben im Rahmen des UFOPLAN  
durch das BMU und das UBA, Förderkennzeichen: 3707 93 300

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung  
liegt bei den Autor(inn)en.



**Wuppertal Institut**  
für Klima, Umwelt, Energie  
GmbH

### Wuppertal Institut in Kooperation mit

BASF  
Borderstep  
CSCP  
Daimler  
demea – VDI / VDE-IT  
ECN  
EFA NRW  
FhG IAO  
FhG UMSICHT  
FU Berlin  
GoYa!  
GWS  
Hochschule Pforzheim  
IFEU  
Institut für Verbraucherjournalismus  
IÖW  
IZT  
MediaCompany  
Ökopol  
RWTH Aachen  
SRH Hochschule Calw  
Stiftung Warentest  
ThyssenKrupp  
Trifolium  
TU Berlin  
TU Darmstadt  
TU Dresden  
Universität Kassel  
Universität Lüneburg  
ZEW



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

**Umwelt  
Bundes  
Amt**   
Für Mensch und Umwelt

## Indikatoren / Bottom-up-Modelle und Szenarien

### Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>3</b>
<b>TEIL I – Abschlussbericht des Arbeitsschritts 6.1</b>	<b>5</b>
<b>TEIL II – Abschlussbericht des Arbeitsschritts 6.2</b>	<b>7</b>
<b>1 Modellkonzept</b>	<b>7</b>
1.1 Ziele und Aufgabenstellung	7
1.2 Das Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ als Teil des Bedarfsfelds „Bauen und Wohnen“	8
1.3 Das Bottom-up Wirkungsanalyse Modell „Warmer Wohnraum“	9
<b>2 Definition und Implementierung der MaRess-Szenarien</b>	<b>12</b>
2.1 Ausgangspunkt Policymix	12
2.2 Narrative Beschreibung der MaRess-Szenarien	14
2.3 Detaillierung der Szenarien-Eingriffe auf der Nachfrageseite und deren Treibergrößen in <i>HEAT</i>	15
<b>3 Modellierungsergebnisse und Schlussfolgerungen</b>	<b>16</b>
<b>4 Politikempfehlungen und Forschungsbedarf</b>	<b>23</b>
<b>5 Literatur</b>	<b>27</b>

## Abbildungen

Abb. 1:	Modellkonzept für das Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“	10
Abb. 2:	Kumulierter Einsatz von Dämmstoffen (XPS und Zellulose) in den MaRess- Szenarien <i>MaRess BAU</i> , <i>MaRess Leit-Minus</i> , <i>MaRess Leit</i> und <i>MaRess Leit-Plus</i>	17
Abb. 3:	Vergleich der Endenergienachfrage in den MaRess-Szenarien <i>BAU</i> , <i>Leit-Minus</i> , <i>Leit</i> und <i>Leit-Plus</i> für Raumwärme und Warmwasser bis zum Jahr 2050	18
Abb. 4:	Relative Entwicklung von Umweltwirkungs-Indikatoren im Szenario <i>MaRess Leit-Plus</i>	19
Abb. 5:	Absolute Entwicklung des Umweltwirkungs-Indikators „Erschöpfung abiotischer Ressourcen“ im Szenario <i>MaRess Leit-Plus</i>	20
Abb. 6:	Relative Entwicklung von CML-Indikatoren im Szenario <i>MaRess Leit-Plus</i> ( <i>Sensitivität Treibmittel</i> ) – Werte zwischen 250 und 500% abgeschnitten	21
Abb. 7:	Ergebnisse der Trade-off Analyse (Ressourceneinsatz versus Einsparungen) der Dämmstoffvarianten XPS und Zellulose	22

## Tabellen

Tab. 1:	Zusammenfassende Darstellung der Einflussgrößen im Gebäudebereich nach Szenarien	15
---------	--	----

## **Vorwort**

Dieser Bericht gliedert sich in zwei Teile:

### **Teil I: Materialflussindikatoren als Basis zur Messung von Ressourcenproduktivität und Umweltwirkungen**

In Teil I werden die Ergebnisse des Arbeitsschritts 6.1 dargestellt.

### **Teil II: Bottom-Up Wirkungsanalyse-Modell**

In Teil II werden die Ergebnisse des Arbeitsschritts 6.2 dargestellt.





## TEIL I – Abschlussbericht des Arbeitsschritts 6.1

### Materialflussindikatoren als Basis zur Messung von Ressourcenproduktivität und Umweltwirkungen

Autoren: Stefan Bringezu, Helmut Schütz

#### Zusammenfassung

Die Bundesregierung beabsichtigte, die Anwendung von Makroindikatoren zur Messung des Ressourcenverbrauchs der deutschen Wirtschaft zu untersuchen, und erwartete Vorschläge zur weitergehenden Anwendung und Entwicklung. Im erweiterten Kontext steht dies in Verbindung zur Entwicklung eines nationalen Programms für nachhaltiges Ressourcenmanagement wie es zum Beispiel durch die Thematische Strategie der EU zur nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen gefordert wird. Im Besonderen sollte das bestehende Instrumentarium zur Beobachtung des Fortschrittes hin zu Nachhaltigkeit im Sinne der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie verbessert werden, indem der Gültigkeitsbereich des bisher verwendeten Rohstoffindikators zu erweitern wäre.

Die Konzepte der Materialflussrechnung von EUROSTAT und OECD beinhalten eine schrittweise Erweiterung der Indikatoren für Ressourcennutzung und Ressourcenproduktivität. Direkter Material Input (*englisch: Direct Material Input - DMI*) und Inländischer Materialverbrauch (*englisch: Domestic Material Consumption - DMC*) bilden die Basis, sie erfassen jedoch nicht die indirekten Materialflüsse von Importen und Exporten, und auch nicht die ungenutzte Extraktion im Inland. So werden die ausländische Dimension und der volle Umfang der Primärmaterialentnahme nicht abgebildet. DMI und DMC können in Rohstoffäquivalenten (*englisch: Raw Material Equivalents - RME*) berechnet werden, welche die indirekten Materialflüsse in Form genutzter Rohstoffentnahme einschließt und damit die nicht genutzte Extraktion außen vor lässt. Die umfassendsten Indikatoren für den gesamten globalen Primärmaterialbedarf für Produktion und Verbrauch, welche sowohl die genutzte als auch die nicht genutzte Extraktion umfassen, sind der Globale (Gesamt-)Material Aufwand (*englisch: Total Material Requirement - TMR*) und der Globale (Gesamt-)Material Verbrauch (*englisch: Total Material Consumption - TMC*).

Darüber hinaus beabsichtigt die Europäische Kommission Indikatoren zu entwickeln, welche die mit Ressourcennutzung verbundenen Umweltwirkungen abbilden, um so Fortschritte zur doppelten Entkopplung (*englisch: double-decoupling*) zu erfassen, die zentrales Thema der Thematischen Strategie zur nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen ist.

Der Workshop brachte Experten und Repräsentanten von Datennutzern, Datenanbieter aus der Forschung und Statistische Ämter zusammen. Verschiedene Ansätze und

Positionen wurden hervorgehoben und hinsichtlich grundlegender methodischer Fragestellungen und Interpretierbarkeit der abgeleiteten Indikatoren diskutiert. Eine „mind-map“ Übung arbeitete grundlegende Anforderungen an einen idealen Indikator für Ressourcennutzung aus der Sicht von Anwendern, Anbietern oder Statistikern heraus. Eine interaktive Einheit über Anforderungen für das offizielle Berichtssystem in Deutschland und seinen Verbesserungsbedarf richtete das Hauptaugenmerk weiterführend auf das Interesse der Bundesregierung, wie mit der Erfassung von Ressourcennutzung und Ressourcenproduktivität weiter umgegangen werden sollte.

Unter den Nutzern von Daten und Indikatoren war die allgemeine Tendenz, RME im ersten Schritt zu entwickeln und im Folgenden TMR/TMC welche als umfassendste Indikatoren angesehen wurden. Auch Wirkungsbezogene Indikatoren erhielten die Aufmerksamkeit der Anwender. Es gab jedoch keine eindeutige Haltung, den gegenwärtigen Leitindikator kurzfristig zu ersetzen.

Datenanbieter aus der Forschung unterstützten ihren jeweiligen Schwerpunkt der Indikatorenentwicklung, mit einer generellen Tendenz – wie bei den Anwendern – zunächst den RME zu entwickeln und in der Folge TMR/TMC, indem einer modularen Vorgehensweise zu folgen wäre wonach die nicht genutzte Extraktion zum RME hinzugefügt wird, während man weiterer Forschung zu wirkungsbezogenen Indikatoren offen gegenüber stünde.

Statistiker favorisierten RME und zeigten Interesse sowohl für TMR/TMC als auch für die wirkungsbezogenen Indikatoren für Ressourcennutzung.

Darüber hinaus wurden einige kritische offene Fragestellungen zur konzeptionellen Fundierung der verschiedenen Indikatoren identifiziert, die weiterer Diskussion und Harmonisierung bedürfen.

## TEIL II – Abschlussbericht des Arbeitsschritts 6.2

### Bottom-up Wirkungsanalyse-Modell

Autoren: Thomas Hanke, Ole Soukup, Peter Viebahn, Manfred Fischedick

## 1 Modellkonzept

### 1.1 Ziele und Aufgabenstellung

Ziel des Arbeitsschrittes 6.2 war es, am Beispiel eines ausgewählten Bedarfsfeldes beispielhaft zu analysieren, wie sich Politikansätze zur Erhöhung der Ressourceneffizienz in der Summe auf die Ressourcenbilanz auswirken und mit welchem Erfolg sie umgesetzt werden könnten. Dies beinhaltet drei Untersuchungsebenen:

- Durch die Entwicklung und beispielhafte Anwendung eines *Bottom-up Wirkungsanalyse Modells* sollte es ermöglicht werden, sowohl die direkten als auch die indirekten Wirkungen eines von den Arbeitspaketen 3 (Innovative Ressourcenpolitikansätze zur Gestaltung der Rahmenbedingungen), 4 (Innovative Ressourcenpolitikansätze auf Mikroebene: Unternehmensnahe Instrumente und Ansatzpunkte) und 12 (Konsumenten- und kundennahe Ansätze zur Ressourceneffizienzsteigerung) identifizierten Policymixes zu ermitteln, also quasi eine „Netto“-Bilanzierung der aus verschiedenen Politikansätzen resultierenden Ressourcenströme durchzuführen. Auf diese Weise können sowohl direkte Wechselwirkungen als auch Trade-offs und Synergieeffekte zwischen betrachteten Maßnahmen ermittelt werden.
- Neben den Auswirkungen auf den Ressourcenbereich selbst sollten gleichzeitig auch Wechselwirkungen mit anderen gesellschaftspolitischen Zielen (insbesondere den Klimaschutzzielen) analysiert werden. So ist angesichts klimapolitischer Vorgaben in Deutschland und der Europäischen Union zu fragen, ob Maßnahmen zur Verringerung der Ressourcenströme im Einklang mit den Reduktionszielen für Treibhausgas-Emissionen stehen. Weitere emissionsseitige Umweltwirkungsbereiche sind zum Beispiel der Sommersmog, die Versauerung von Böden und Gewässern oder die Belastung durch Feinstäube, die mithilfe eines *Ökobilanzierungs Modells* ermittelt werden können.
- Durch die Anwendung und Übertragung der im Energiesektor gängigen Szenarioanalyse wurde es zudem möglich, die Auswirkungen verschiedener Ressourcenpolitikansätze im gleichen Bedarfsfeld zu modellieren und ihre Auswirkungen und Unterschiede gegenüberzustellen. Indem gleichzeitig nicht nur die Ist-Situation, sondern die Entwicklung auf der Zeitachse bis zum Jahr 2050 modelliert wurde, konnten zudem *Langfrist-Auswirkungen* analysiert werden. Dies ist insbesondere dann relevant, wenn die Auswirkungen von Ressourceneffizienzmaßnahmen einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten betreffen.

Die Erfahrungen bei der Modellierung des ausgewählten Bedarfsfeldes und der entwickelten Methodik sollten schließlich hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf andere Bedarfsfelder analysiert werden. Dieser Teil der Analyse ist Inhalt des Papers 6.1 „*Übertragbarkeit des Bottom-up Wirkungsanalyse-Modells auf andere Bedarfsfelder*“. Es zeigt, dass das hier entwickelte Modell unter zwei Voraussetzungen auf andere Bedarfsfelder übertragbar ist: Einerseits müssen messbare Indikatoren zur Verfügung stehen, mit denen die Wirkung von Politikinstrumenten abgebildet werden kann; andererseits muss für das jeweilige Bedarfsfeld ein Technikmodell einsatzbereit sein, mit dem Veränderungen der gewählten Indikatoren im Zeitablauf szenarienmäßig berechnet werden können. Dies ist beispielsweise im Bedarfsfeld „Mobilität und Verkehr“ mit dem TREMOD-Modell gegeben, das im Auftrag des Umweltbundesamtes durch das Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu) entwickelt wurde (vgl. ifeu 2010).

## **1.2 Das Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ als Teil des Bedarfsfelds „Bauen und Wohnen“**

Von verschiedenen in Frage kommenden Bedarfsfeldern wurde das Bedarfsfeld „Bauen und Wohnen“ und hierin das Teil-Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ ausgewählt. Dieses Bedarfsfeld umfasst nach der hier vorgenommenen Definition die Nachfrage nach „Warmem Wohnraum“ in Deutschland. „Warmer Wohnraum“ kann mittels Heizungsanlagen auf fossiler und erneuerbarer Basis, mittels Stromheizung über fossilen Strom oder erneuerbare Energien oder auch durch energetische Optimierung (zum Beispiel Wärmedämmung) von Gebäuden erreicht werden. Neben dem Bestand an Wohnungen werden auch die Zu- und Abgänge bis zum Jahr 2050 betrachtet.

Für die Auswahl dieses Bedarfsfeldes waren verschiedene Gründe ausschlaggebend:

- Das Bedarfsfeld „Bauen und Wohnen“ ist hinsichtlich des direkten und indirekten globalen Materialaufwandes der inländischen sektoralen Produktion ein Hot-Spot Bereich (Acosta-Fernandez et al. 2009). Analysiert man zudem den Verbrauch der energetischen Ressourcen, so zeigt sich die herausragende Bedeutung des Bedarfsfeldes „Warmer Wohnraum“.
- Trotz der hohen Bedeutung des Gebäudebereichs für die Ressourcenfrage sind Effizienzstrategien dagegen bisher eher rudimentär behandelt worden, so dass hier erstmals Energieeinsparstrategien und die dadurch ausgelöste Nachfrage nach Dämmstoffen gegenüber gestellt werden können.
- Maßnahmen zur Einsparung von Energie und Emissionen im Gebäudebereich gehen bisher implizit davon aus, dass keine negativen Trade-offs entstehen. Ob beispielsweise die Wirkung von Energiesparmaßnahmen möglicherweise durch die für die Herstellung der Dämmmaterialien benötigte Energie wieder aufgehoben wird, lässt sich in einer Überschlagsrechnung vergleichsweise einfach abschätzen. Welche Wechselwirkungen sich letztendlich aus energie- und prozessbedingten Emissionen in Hinblick auf unterschiedliche Umweltwirkungen ergeben, ist dagegen we-

niger offensichtlich und oft wesentlich von der Ausgestaltung der betrachteten Prozessketten abhängig. Durch die Kopplung eines Gebäude-Energiemodells mit einem Stoffstrommodell kann dies hier erstmals gezielt untersucht werden.

- Insbesondere durch den hohen Aufwand nicht-energetischer Ressourcen im Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ ist zudem eine Analyse der Trade-offs zwischen eher energie- und emissions-getriebenen und stärker ressourceneffizienz-getriebenen Strategien interessant.
- Nicht zuletzt existiert für die in diesem Bereich relevanten Energieflüsse eine vom Wuppertal Institut entwickelte Bottom-up Methodik, die in dem stock-exchange Gebäudemodell *HEAT* umgesetzt wurde.

### **1.3 Das Bottom-up Wirkungsanalyse Modell „Warmer Wohnraum“**

Zur Umsetzung der oben dargestellten Ziele wurde das im Folgenden beschriebene Bottom-up Wirkungsanalyse Modell „Warmer Wohnraum“ entwickelt. Abb. 1 zeigt die verschiedenen Module, aus denen das Modell aufgebaut ist.

#### **Modul 1: Modellierung des Bedarfsfelds „Warmer Wohnraum“ mit *HEAT***

Das EDV-System *HEAT* (Household Energy and Appliances modelling Tool) dient der Energie- und Emissionsbilanzierung und dem -monitoring im Haushaltssektor und enthält neben einer differenzierten Haushaltsgeräteseite zur Ermittlung des Strombedarfes auf der Wärmeseite eine bauteilspezifische Modellierung des Gebäudebestands Deutschlands. Sie lässt sich an regionale und datentechnische Anforderungen anpassen und kann in ihrer größten Ausprägung 64 Gebäudetypen differenzieren.

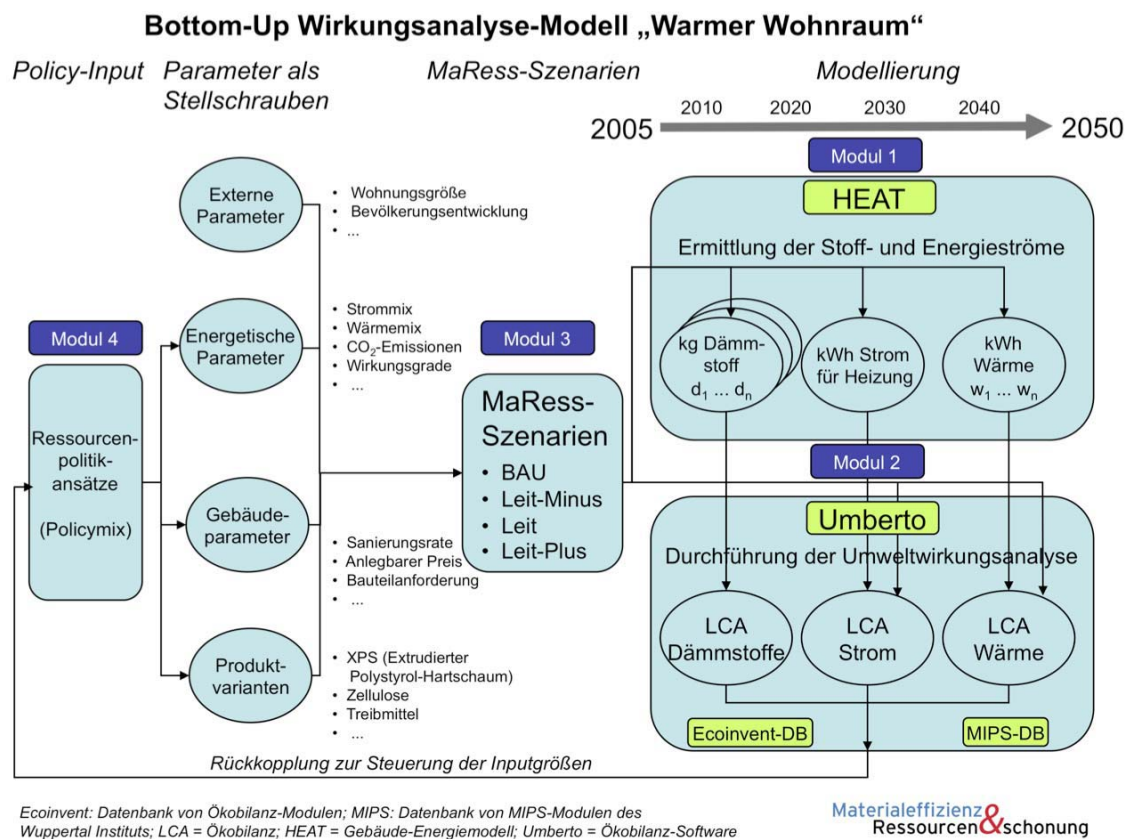
Innerhalb dieses Technologiemoells wird in einer Langfristbetrachtung bis zum Jahr 2050 für verschiedene Szenarien, die sich aus ressourcenpolitischen Vorgaben ableiten, die Entwicklung des Endenergiebedarfs für den Wohnungssektor modelliert, aufgeteilt nach Energiearten. Gleichzeitig wird die direkte Nachfrage nach Dämmstoffen ermittelt, wobei zum Beispiel bei der Berechnung von Dämmstoffmengen eine Auswertung der prognostizierten Anforderungen an Wärmedurchgangskoeffizienten von Gebäudehüllen erfolgt. Betrachtet wird der gesamte Gebäudebestand inklusive Zu- und Abgängen in Deutschland zu den jeweiligen Zeitpunkten 2005, 2010, 2020, 2030, 2040 und 2050.

#### **Modul 2: Umweltwirkungsanalyse**

Die mit *HEAT* berechneten Mengen aus jährlichem Zubau an Dämmstoffen und jährlichem Endenergie-Einsatz in Heizungssystemen im gesamten Gebäudebestand werden anschließend in Stoff- und Energieflussmodelle eingespeist, die mit der Software Umberto erstellt werden. Zur Ermittlung ihrer Umweltwirkungen werden Ökobilanzen in Anlehnung an (DIN 2006a,b) erstellt.

Die Bilanzergebnisse werden schließlich einer Umweltwirkungsabschätzung unterzogen, wodurch eine ökologische Gesamtbewertung von eingesetzten Materialien und Energiemengen an Hand verschiedener Umweltwirkungsindikatoren und unter Berücksichtigung der jeweiligen Bereitstellungsvorketten möglich wird. Verwendet wird die CML-Methode (Guinée et al. 2002:63ff), die über eine breite internationale Anwenderschaft verfügt und sich dadurch auszeichnet, dass sie eine Vielzahl unterschiedlicher Beeinflussungen verschiedener Umweltmedien abdeckt. Diese beinhalten Wirkungskategorien auf der Emissionsseite und auf der Inputseite.

Abb. 1: Modellkonzept für das Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“



Quelle: Eigene Entwicklung

*Emissionsseitig* werden bilanziert: Überdüngungspotenzial, Versauerungspotenzial, stratosphärischer Ozonabbau, sedimentäre Süßwasser-Ökotoxizität, sedimentäre Seewasser-Ökotoxizität, aquatische Süßwasser-Ökotoxizität, aquatische Seewasser-Ökotoxizität, Boden-Ökotoxizität, photochemische Oxidation (Sommersmog), Klimawandel, ionisierende Strahlung und Humantoxizitätspotenzial.

*Ressourcenseitig* werden bilanziert: *Erschöpfung abiotischer Ressourcen* und *Landverbrauch*. Der Ressourcenindikator erfasst die Extraktion von mineralischen Rohstoffen und fossilen Energieträgern. Auf Grundlage ihres Verhältnisses zwischen jährlicher Extraktion und Ressourcenpotenzial („Ultimate Reserves“) wird ihr Erschöpfungspo-



tenzial ermittelt, und im Rahmen der Charakterisierung auf die Referenzressource Antimon umgerechnet.

Diese beiden ressourcenseitigen Indikatoren liefern Hinweise auf die Belastung von Energie-, Material- und Flächenressourcen durch das Produktsystem, wobei 284 Elementarflüsse der Kategorie „Ressource“ bilanziert werden. Das Erschöpfungspotenzial berücksichtigt jedoch nicht den Gesamtumfang abiotischer und biotischer Ressourcenentnahme. Hierzu bedarf es der zusätzlichen Erfassung des „ökologischen Rucksacks“ über die Indikatoren MIPS bzw. TMR (einer der Hauptkategorien von MIPS, der langfristig auch auf volkswirtschaftlicher Ebene als Schlüsselindikator von OECD, ESTAT und DESTATIS erhoben werden soll). Da derzeit jedoch keine konsistente Bilanzierung unter Einbezug sowohl von Ökobilanz-Indikatoren als auch von MIPS-Indikatoren möglich ist (siehe Forschungsbedarf in Kapitel 4), werden hier zunächst die Ökobilanz-Indikatoren verwendet. In einer Sensitivitätsanalyse werden an einem Fall ergänzend Materialintensitäten mit MIPS berechnet.

### **Modul 3: MaRess-Szenarien**

Die Modellierung innerhalb von HEAT und Umberto basiert auf der Definition und Ausgestaltung verschiedener „MaRess Szenarien“. Diese beschreiben – in einer Langfristspektive – mögliche Entwicklungspfade zur Reduzierung des Energiebedarfs (und damit energetischer Ressourcen) des privaten Gebäudesektors. Die Szenarien spannen einen Fächer zwischen niedriger und sehr hoher (politischer) Eingriffstiefe auf. Sie sind zunächst am Instrumentarium der Energiemodellierung orientiert, da hier jahrzehntelange Erfahrung und konkrete politische Vorgaben beziehungsweise Absichtserklärungen vorliegen (siehe Kapitel 2).

### **Modul 4: Policymix und Einflussparameter**

Treiber für die verschiedenen Szenarien sind entsprechende Einflussparameter, die sich durch den Policymix einer Ressourcenpolitik ergeben. Diese auch als Stellschrauben bezeichneten Größen bestimmen den Fächer an Szenarien, der eine Bandbreite möglicher Entwicklungen bis zum Jahr 2050 aufzeigt. Hierzu zählen

- *Externe Parameter:* Unter den allgemeinen betrachteten, nichtenergetischen Treibergrößen sind Rahmenindikatoren zusammengefasst, die eine allgemeine wirtschaftliche oder gesellschaftliche Entwicklung widerspiegeln und für alle Szenarien gleich gelten. Zu ihnen gehören etwa die demographische Entwicklung und die damit einhergehende Wohnflächenentwicklung, die Entwicklung der Bauteilstandards selbst (da die Güte der jeweiligen Standards innerhalb der Szenarien nicht variiert werden, sondern nur deren Marktanteile) sowie die Wirkungen von flankierenden Maßnahmen auf die Sanierungsraten.
- *Energetische Parameter:* Für alle MaRess-Szenarien wurden Annahmen zur Entwicklung des Strommixes und des Wärmemixes in den Stützjahren getroffen. Der jeweilige Strommix wird im Stoffstrommodell dem direkten Strombedarf der Herstellung von Dämmstoffen sowie der Nutzung von Strom zu Heizzwecken zu Grunde

gelegt. Der Wärmemix geht in die Bilanzierung der Herstellung von Wärme und Warmwasser in den Haushalten ein.

- *Gebäudeparameter:* Neben den Annahmen, die die Energieszenarien direkt betreffen, wurden für jedes Szenario weitere Annahmen zur Modellierung der jeweiligen Energieverbräuche im Wohnsektor getroffen wie etwa die zu erwartende Sanierungsrate im Gebäudebestand, Anforderungen an Bauteilbeschaffenheiten oder anlegbare Preise bezogen auf die Kosten von Sanierungsmaßnahmen.
- *Produktvarianten:* Als Sensitivitätsanalysen wurden eine Variation des Dämmstoffes sowie die Zusammensetzung der für die Herstellung des Dämmstoffs XPS benötigten Treibmittel modelliert. Generell können bei den Produktvarianten zukünftig in Produktionsprozessen zu erwartende Veränderungen (ausgelöst zum Beispiel durch technische Innovationen, durch Reduktion des Material- und Energieeinsatzes oder durch Substitution einzelner Produkte durch Ersatzstoffe) berücksichtigt werden.

Das Policymix-Modul 4 bekommt schließlich von Modul 2 über den zeitlichen Verlauf verschiedener Wirkungsindikatoren den Grad der Zielerreichung der ursprünglichen Politikansätze zurückgemeldet. Hierdurch wird es möglich, bei Verfehlen der Zielmarken die Politikansätze zu justieren und zu optimieren und die MaRes-Szenarien entsprechend anzupassen.

## 2 Definition und Implementierung der MaRes-Szenarien

### 2.1 Ausgangspunkt Policymix

#### Grundidee der geplanten Modellierung

Ursprüngliches Ziel der Szenarien-Modellierung war es, auf einem von den AP3, 4 und 12 identifizierten Policymix aufzusetzen und insbesondere ressourcenpolitische Maßnahmen in die Szenarien zu integrieren oder gezielt eigene Ressourcenszenarien zu entwickeln. Als methodische Grundlage stand dafür die aus der Energiemodellierung bewährte Vorgehensweise der Szenarienerstellung zur Verfügung. Deren zentrale Elemente sind

- *Zielorientierung:* Definieren eines Langfristziels, das sich aus einem oder mehreren Zielgrößen zusammen setzt – prominente Beispiele sind die seit Jahren erstellten Energieszenarien, die beispielsweise in der Variante E1 des Leitszenarios 2008 (BMU 2008) das Ziel einer 80-prozentigen Reduktion der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2050 betrachten;
- *Szenarienfächer:* Entwickeln einer Schar von Langfrist-Szenarien, die Entwicklungspfade zum Erreichen der gesetzten Zielgrößen aufspannen oder zeigen, wie und in welchem Ausmaß die Ziele verfehlt werden. Solche Szenarien spannen

meist einen Fächer zwischen niedriger Eingriffstiefe (business-as-usual Pfad) und hoher Eingriffstiefe (mit Auswirkungen bis hin zum Systemwechsel) auf.

Zur Entwicklung von Politikinstrumenten fanden mehrere Abstimmungsgespräche und gemeinsame Workshops zwischen den Modellierungs-Arbeitspaketen 5 (Quantitative und qualitative Analyse der ökonomischen Effekte einer forcierten Ressourceneffizienzstrategie) und 6 sowie den Politik-AP3, 4 und 12 statt. Zusammenfassend kann jedoch keiner der von den Politik-AP identifizierten Ressourcenpolitik-Ansätze direkt auf den hier modellierten Bereich der Sanierung von Wohngebäuden angewendet werden. Die beiden einzigen als relevant identifizierten Instrumente wären die Baustoffbesteuerung (AP3) und der Ressourcenausweis für Gebäude (AP12) gewesen. Ersterer berücksichtigt jedoch nur Primärbaustoffe, während in AS6.2 Dämmstoffe modelliert werden; letzterer wurde aufgrund der großen Unsicherheit hinsichtlich der anzusetzenden Werte nicht weiter betrachtet. Es wurde deutlich, dass hinsichtlich der Verbindung der Szenarienentwicklung und der Stoffstrommodellierung mit der Konkretisierung von wohnraumspezifischen Instrumenten weiterer Forschungsbedarf besteht.

Aber selbst wenn quantifizierbare Instrumente vorlägen, bestände aus technischer Sicht die Herausforderung, sie in Stoffstrommodellen modellieren zu können. Die Integration von Ressourcenindikatoren in Ökobilanzen stellt wie oben beschrieben einen weiteren wichtigen Forschungsansatz dar.

### **Alternativ gewählter Modellierungsansatz**

Aufgrund der Schwierigkeiten, konkrete Ressourcenziele und Instrumente zu deren Erreichbarkeit zu definieren, wurde der Rückgriff auf bestehende klimapolitische Ziele und Szenarien vorgenommen. In gängigen Szenarien aus diesem Sektor, wie etwa der Variante E1 des Leitszenarios 2008 (BMU 2008) wird in der Regel eine Begrenzung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland um 40% bis zum Jahr 2020 gegenüber 1990 und um 80% bis zum Jahr 2050 modelliert. Diese Ziele werden in neueren Szenarien oft noch verschärft und liegen z.B. im Innovationsszenario nach Öko-Institut und Prognos (2009) bei -91% bis 2050. Auch ohne Einbezug konkreter Ressourcenziele sind diese Szenarien dennoch von hoher Relevanz für die in MaRess verfolgten Ziele:

- Durch den Energiebedarf in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr wird eine große Menge endlicher energetischer Ressourcen (Primärenergie) verbraucht, so dass eine Betrachtung dieser Sektoren nicht nur aus klimapolitischen, sondern ebenso aus ressourcenpolitischen (und sicherheitspolitischen) Gründen äußerst relevant erscheint;
- bisher existieren keine Abschätzungen über mögliche Trade-offs zwischen Energieeinsparung und gesamtem Rohstoffverbrauch, so dass die Kopplung eines Gebäude-Energiemodells mit einem Stoffstrommodell die Möglichkeit gibt, dieses erstmals gezielt zu analysieren.

Vor diesem Hintergrund werden im folgenden Kapitel die MaRess-Szenarien für das Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ beschrieben, die auf entsprechenden Energieszenarien aufbauen.

## 2.2 Narrative Beschreibung der MaRess-Szenarien

Als Grundlage der Szenarienerstellung wurde die *Leitstudie 2008* des Bundesumweltministeriums ausgewählt. Basis der Leitstudie ist das zielorientierte *Leitszenario 2008*, das darlegt, wie die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 in Deutschland auf rund 20% des Werts von 1990 gesenkt werden können“ (BMU 2008). Es bildet die Zwischenziele der Bundesregierung für 2020 ab, die in Beschlüssen der Bundesregierung, einschlägigen Gesetzen und den Regelungen der EU-Kommission festgelegt wurden. Dies betrifft Festlegungen für die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen, der Steigerung der Energieproduktivität und den Beitrag der erneuerbaren Energien, die einen entsprechenden Strukturwandel in der Energieversorgung auslösen. Aus den Energieszenarien wird für Modellierungszwecke in AS6.2 sowohl der jeweilige Wärmemix im Haushaltsbereich als auch der bundesweite, durchschnittliche Strommix verwendet.

Die allen Szenarien der Leitstudie zugrunde liegenden ökonomischen und sonstigen Basisdaten (zum Beispiel Entwicklung der Bevölkerung, der Haushaltsgrößen) wurden leicht angepasst. Insbesondere die ökonomischen Daten wurden aufgrund der Wirtschaftskrise nach unten korrigiert. Sowohl die Modellierung in *HEAT* als auch die Top-down Modellierung in AP5 basieren auf den gleichen angepassten Daten.

### Szenario *MaRess BAU*

Zur Darstellung, welche Beiträge das *Leitszenario 2008* für die Klimaschutz- und Ressourcenziele liefert, ist es sinnvoll, zunächst eine Referenzentwicklung zu modellieren. Da in der *Leitstudie 2008* zielorientierte Szenarien entwickelt wurden, denen keine solche Referenz-Entwicklung gegenübergestellt wurde, musste zunächst ein eigenes Business-As-Usual-Szenario (BAU) entwickelt werden. Hierfür wurde auf die Referenzszenarien der Energieprognose (IER et al. 2009) und der WWF-Studie „Modell Deutschland“ (Öko-Institut und prognos 2009) zurück gegriffen.

### Szenario *MaRess Leit-Minus*

Das Szenario *MaRess Leit-Minus* entspricht dem *Defizitszenario D1* der *Leitstudie 2008*. Dabei wird einerseits angenommen, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien wie geplant erfolgt, sich die erzeugte Menge an Strom und Wärme in absoluten Mengen gegenüber dem *Leitszenario 2008* also nicht verändert. Demgegenüber wird jedoch eine geringere Wirkung der Maßnahmenpakete zur Effizienzsteigerung und zum Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung angenommen. Dadurch erhöht sich die Energienachfrage, so dass der Anteil der erneuerbaren Energien relativ gesehen sinkt.

## Szenario MaRes Leit

Das Szenario *MaRes Leit* entspricht dem Leitszenario 2008, das bereits oben beschrieben wurde.

## Szenario MaRes Leit-Plus

*MaRes Leit-Plus* unterscheidet sich von *MaRes Leit* dadurch, dass die Effizienzbestrebungen im Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ noch weiter *gesteigert* wurden, indem der Heizenergiebedarf weiter abgesenkt wurde. Die Zusammensetzung des Wärmemix wurde vereinfacht konstant gehalten, so dass sowohl fossile als auch erneuerbare Wärmeträger in absoluten Mengen sinken.

## 2.3 Detaillierung der Szenarien-Eingriffe auf der Nachfrageseite und deren Treibergrößen in HEAT

Ergänzend zu den Basisannahmen auf energetischer Seite wurden in den MaRes-Szenarien weitere Einflussparameter bzw. Treibergrößen (siehe Modul 4) zur Umsetzung von Effizienzmaßnahmen im Wohnungsbereich festgelegt, anhand derer mittels *HEAT* die Nachfrageseite modelliert wird. Sie sind in Tab. 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Zusammenfassende Darstellung der Einflussgrößen im Gebäudebereich nach Szenarien

Szenarien				
Einflussgröße	<i>MaRes BAU</i>	<i>MaRes Leit-Minus</i>	<i>MaRes Leit</i>	<i>MaRes Leit-Plus</i>
<b>Zielvorgaben</b> • Leitstudie 2008  • Sonstiges	a. Endenergie b. Erneuerbare	a. Endenergie b. Erneuerbare	a. Endenergie b. Erneuerbare	--- --- <u>Ergebnisorientiert</u> Vollsanierung bei Ausschöpfung der Potenziale der erneuerbaren Energien aus dem Leitszenario
Leitindikatoren der Nutzenenergieebene (Gebäudeeffizienz)				
<b>Sanierungsrate</b>	Residuum bis < 0,7% p.a. Derzeitiger Sanierungsrate bei der Umsetzung von Wärmetechnischen Maßnahmen an der Gebäudehülle	Residuum bis < 0,7% p.a.	Residuum < 1,5% p.a. Forcierung flankierender Maßnahmen (Energieberatung Energiepass, KfW)	< 2,5% p.a. Maximale Umsetzung (Vollsanierung)

<b>Anlegbarer Preis</b>		Residuum bis < 4,4 ct/kWh	Residuum bis < 6,7 ct/kWh	8,8 ct/kWh Orientierung an zukünftige Preis- entwicklung der Energieträger
<b>Amortisations- Erwartung</b>		< 4 Jahre Gewinnerwartung von Investitionen bei Haushalten	< 10 Jahre Mittlere Gewin- nerwartung (Ban- kenpraxis)	< 15 – 20 Jahre Orientierung an Lebenszyklen von Bauteilerneuerun- gen
<b>Bauteilanforde- rung (Altbau)</b>	EnEV 2009 (Energiespar- verordnung)	EnEV 2009	-15% HT' (Mittlerer Heizwärmebedarf) (zur Basis EnEV 2009)	Schrittweise Verschärfung ab 2020 bis 2050 zum Passivhaus
<b>Neubau bis 2020 2020 – 2050</b>		Residuum -15% HT'	Residuum - 80% HT'	- 80% HT' Passivhaus
<b>Leitindikator(en) der Endenergieebene (Heizungsanlagenmix/-effizienz)</b>				
<b>Potenzielle erneuerbare Energien</b>	VORGABE der Referenz-Entwicklung	VORGABE aus dem Leitszenario (D1 verminderte Effizienz)	14,8% der Wärmenachfrage 2020 (ohne Wärmestrom)	Absolut-Werte aus Leitszenario
<b>Technischer Fortschritt (spez. Nutzungsgrad)</b>	BAU	BAU	BAU	BAU

Quelle: Eigene Zusammenstellung

### 3 Modellierungsergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Modellierung innerhalb des AS6.2 hat eine Vielzahl neuer Erkenntnisse erbracht. Die drei zentralen Ergebnisse auf methodischer Seite sind

- die Entwicklung des Bottom-up Wirkungsanalyse-Modells und die beispielhafte Anwendung auf das Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“,
- die erstmals durchgeführte Trade-off Analyse zwischen Effizienzsteigerung, Ressourcenverbrauch und Emissionswirkungen und
- die dadurch möglich gewordene Erweiterung „reiner“ Energieszenarien um ressourcenpolitische Analysen.

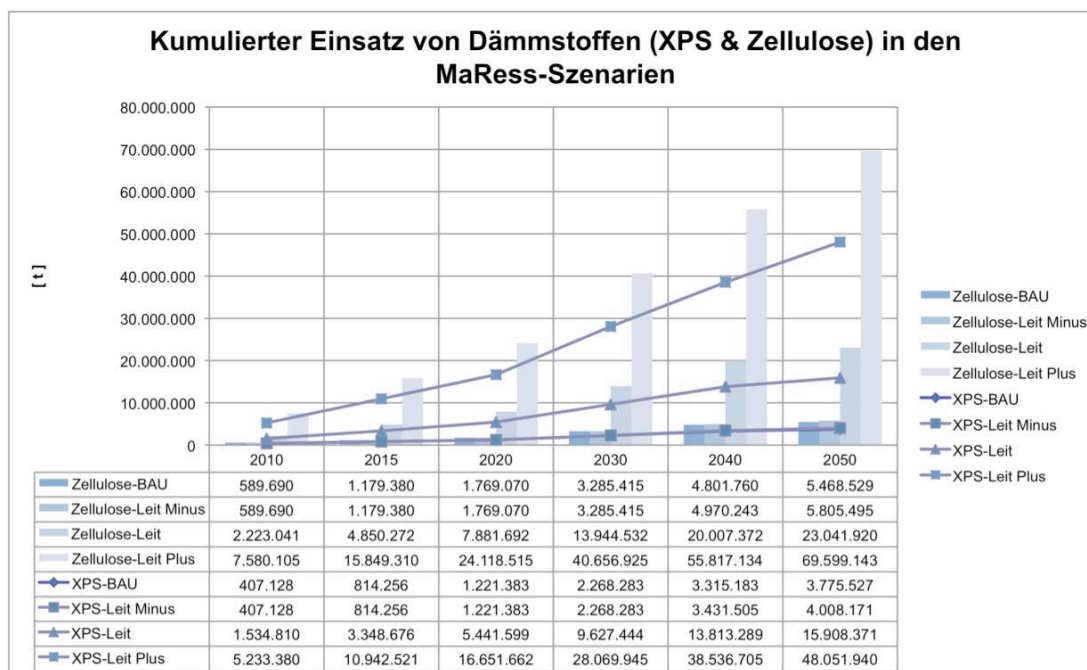
Das zentrale Ergebnis der Modellanalyse ist, dass zusätzliche Aufwendungen für Dämmstoffe sowohl ressourcen- als auch emissionsseitig in fast allen Umweltwirkungskategorien durch erhebliche Einsparungen bei der Gebäudebeheizung überkompensiert werden. Im Wesentlichen sind keine Trade-offs erkennbar, und der prozentuale Beitrag der Dämmstoffe an den Umweltwirkungsindikatoren ist gering.

Abb. 2 zeigt hierzu zunächst die Entwicklung des kumulierten Dämmstoffeinsatzes in den vier MaRes-Szenarien (im Basisfall wurde der als Linie dargestellte Dämmstoff XPS verwendet).



Der mit zunehmender Eingriffstiefe aufgrund von politischen Vorgaben ansteigende Bedarf an Dämmstoffen ist, insbesondere im Szenario *MaRes Plus*, deutlich zu erkennen.

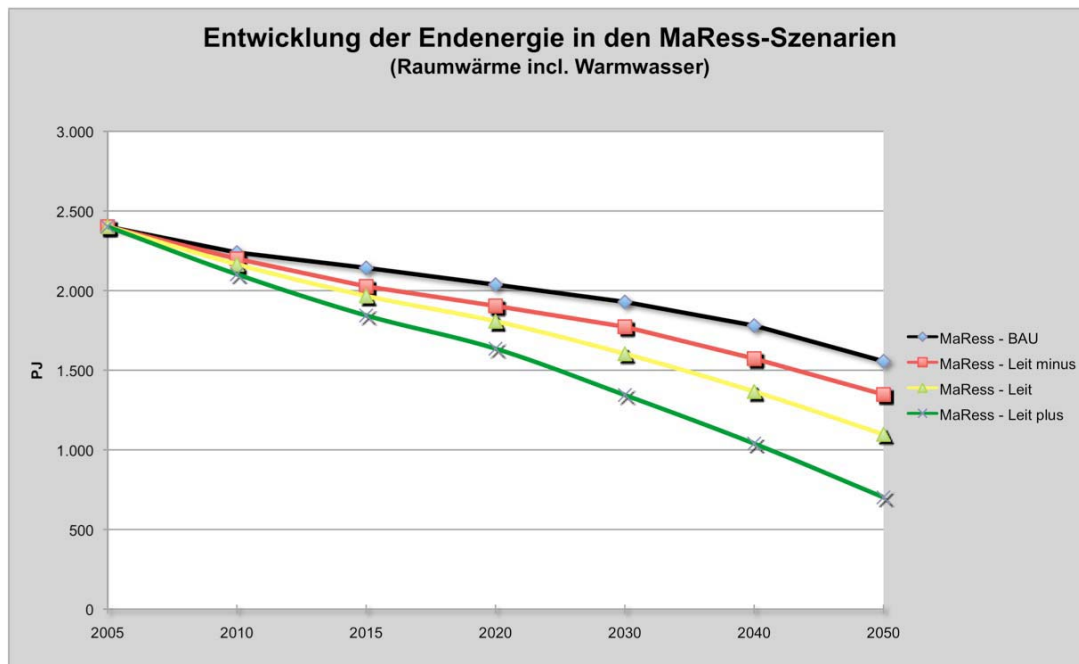
Abb. 2: Kumulierter Einsatz von Dämmstoffen (XPS und Zellulose) in den MaRes- Szenarien *MaRes BAU*, *MaRes Leit-Minus*, *MaRes Leit* und *MaRes Leit-Plus*



Quelle: Eigene Modellrechnungen

In Abb. 3 folgt die Darstellung der aufgrund des Dämmstoffeinsatzes erfolgten Reduktion der Endenergie (Raumwärme inklusive Warmwasser). Im Business-as-usual Pfad (*MaRes BAU*) ist eine Reduktion um 35% bis 2050 möglich. Im Szenario *MaRes Leit-Plus* wirkt sich die Sanierungsqualität (stufenweise Verschärfung der Altbauanierung auf Passivhausstandard) besonders auf den Nutzenergiebedarf aus, so dass ein gleichmäßiger Verlauf von Nutzenergie-, Endenergie und Emissionsreduktion in Verbindung mit dem Einsatz erneuerbarer Energien entsteht. Die forcierte Einsparstrategie führt nutzerenergetisch zu einer Einsparung von 1.250 PJ und einer endenergetischen Einsparung von ca. 1.700 PJ oder 70%.

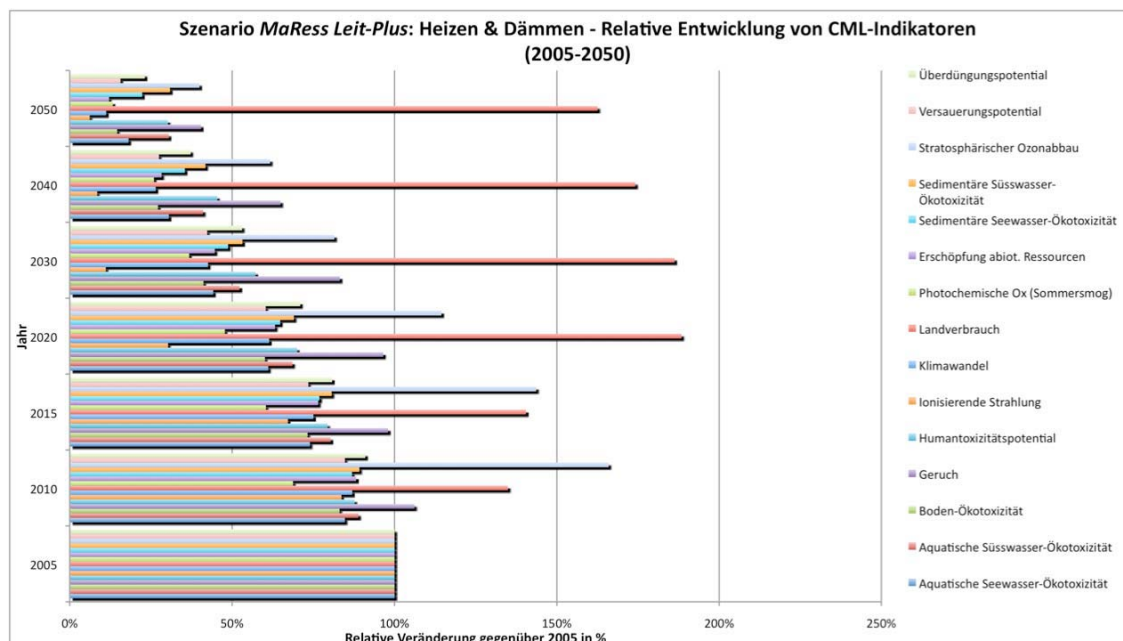
Abb. 3: Vergleich der Endenergienachfrage in den MaRes-Szenarien *BAU*, *Leit-Minus*, *Leit* und *Leit-Plus* für Raumwärme und Warmwasser bis zum Jahr 2050



Quelle: Eigene Modellrechnungen

Vergleicht man die Entwicklung der Umweltwirkungen entlang der vier Szenarien, so wird deutlich, dass schon im Referenzfall, dem Szenario *MaRes BAU*, ein kontinuierlicher, aber moderater Netto-Rückgang aller betrachteten Wirkungskategorie-Indikatoren in Höhe von jeweils 30-50% bis 2050 im Vergleich zu 2005 zu beobachten ist. Dieser Rückgang steigt erwartungsgemäß bei forcierter Ressourcen- und Klimapolitik mehr und mehr an und erreicht im Szenario *MaRes Leit-Plus* im gleichen Zeitraum 70-90% Netto-Entlastung (siehe Abb. 4).

Hier (und auch im hier nicht dargestellten Szenario *MaRes Leit*) sind bei drei Umweltwirkungskategorien jedoch zunächst gegenläufige Entwicklungen zu beobachten: Die beiden Wirkungskategorien „Geruch“ und „Stratosphärischer Ozonabbau“ steigen bis zum Jahr 2010 zunächst an und gehen erst dann analog zu den anderen Kategorien zurück. Die Wirkungskategorie „Landverbrauch“ steigt bis zum Jahr 2020 an und wird erst danach (leicht) reduziert.

Abb. 4: Relative Entwicklung von Umweltwirkungs-Indikatoren im Szenario *MaRes Leit-Plus*


Quelle: Eigene Modellrechnungen

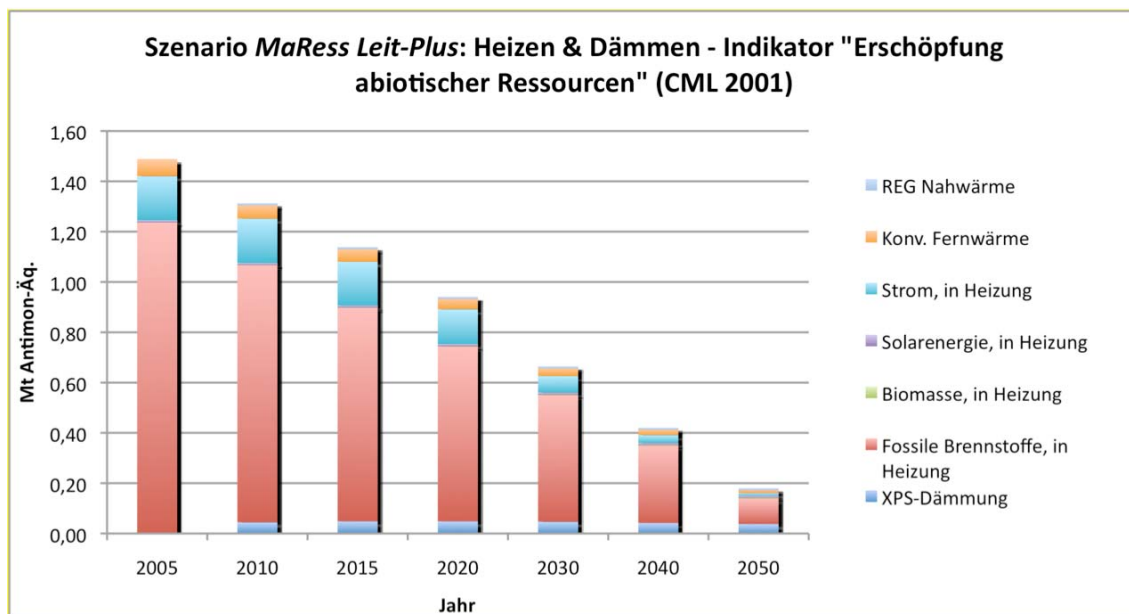
Dies liegt in folgenden Entwicklungen begründet:

- Der von fossilen Brennstoffen dominierte Indikator „Geruch“ steigt durch zunehmende Biomasse-Anteile im Strommix und regenerative Nahwärme zunächst über den Wert des Basisjahres an, sinkt bis 2050 aber durch die Einsparung fossiler Heizenergie darunter ab. Die verstärkte Biomassenutzung kann sich auch auf die Feinstaub-Belastung auswirken, die hier aber nicht separat erfasst wird, sondern ein Bestandteil des Indikators „Humantoxizitätspotenzial“ ist.
- Auch der grundsätzlich durch die Nutzung fossil befeuerter Heizungen dominierte Indikator „Stratosphärischer Ozonabbau“ steigt auf Grund zusätzlicher prozessbedingter Emissionen der Herstellung von XPS-Dämmstoffen zunächst um über 50% des Werts des Basisjahres 2005 an. Durch die Einsparung von fossiler Heizenergie auf Grund der Dämmung wird dieser Effekt bereits ab 2030 kompensiert, und im weiteren Verlauf sinkt die Belastung bis 2050 deutlich um etwa 60% des Bezugswertes.
- Der Anstieg des Indikators „Landverbrauch“ liegt ebenfalls im zunehmenden Einsatz von Biomasse-Heizungen im Wärmemix begründet. Durch die steigende Nutzung von Biomasse in Pellet- und Stückholz-Heizungen liegt dieser Indikator in 2050 als einziger über dem Basiswert von 2005. Diese Entwicklung ist jedoch unabhängig von Effizienzmaßnahmen zu sehen, da sie auf Szenario-Annahmen zur Deckung des restlichen Wärmebedarfs durch erneuerbare Energien zurück geht. Da bei steigendem Bedarf nach forstlicher Biomasse und begrenztem inländischen Potenzial vermehrt Nutzungskonkurrenzen mit stofflichen Verwendungen und stei-

gende Importabhängigkeiten zu erwarten sind, sollte das Leitszenario des BMU auf der Basis eines umfassenden Biomassekonzepts und unter Würdigung der in- und ausländischen Flächennutzungen überprüft werden.

Aus Abb. 4 ist ebenfalls ersichtlich, dass auch der Wirkungsindikator „Erschöpfung abiotischer Ressourcen“ trotz massiven Einsatzes von Dämmstoffen kontinuierlich reduziert wird. Abb. 5 zeigt in einer Detailanalyse, welche Prozesse zur Ressourcenerschöpfung beitragen, wiederum am Beispiel des Szenarios *MaRes Leit-Plus*. Danach ist der Anteil des Dämmstoffes XPS mit 3% in 2010 und 10% in 2050 sehr gering – der weit überwiegende Teil der Belastungen resultiert aus der Nutzung fossiler Energiequellen zu Heizzwecken.

Abb. 5: Absolute Entwicklung des Umweltwirkungs-Indikators „Erschöpfung abiotischer Ressourcen“ im Szenario *MaRes Leit-Plus*

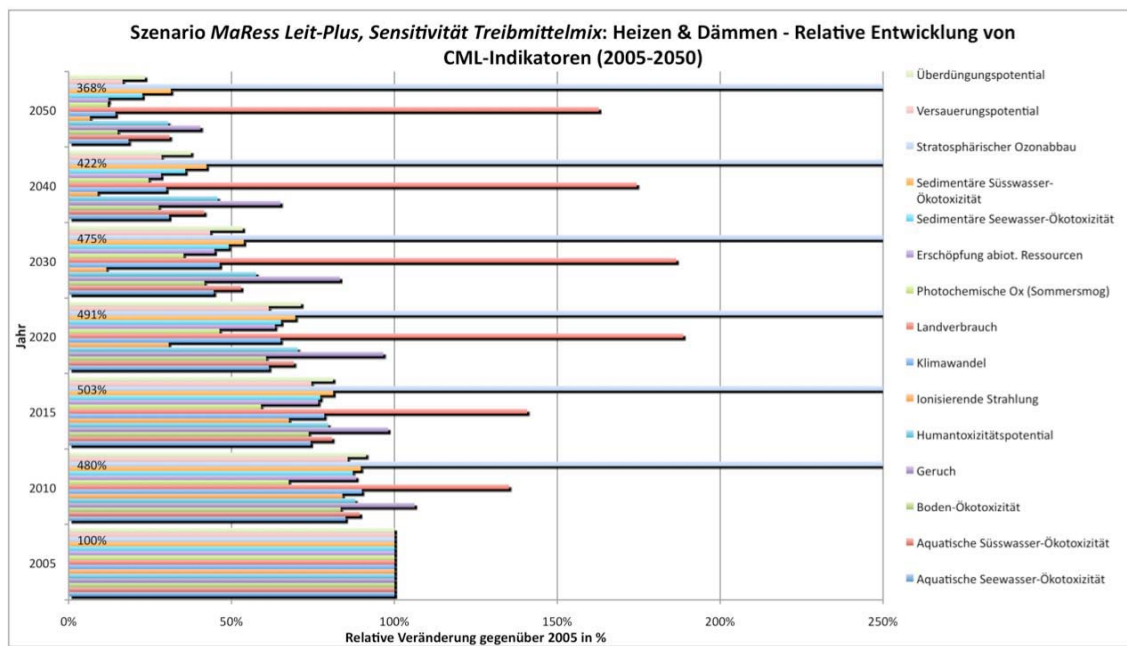


Quelle: Eigene Modellberechnungen

Relevant ist die Wahl des Treibmittels bei den aufgeschäumten XPS-Dämmstoffen (siehe Abb. 6): Für die Basisanalyse wurde angenommen, dass 90-96% des in Deutschland verwendeten XPS mittels CO<sub>2</sub> aufgeschäumt wird und der Rest jeweils zur Hälfte durch die Fluorkohlenwasserstoffe FKW 134a und FKW 152a abgedeckt wird. Da dies in anderen Ländern erheblich abweichen kann, wurde in einer Sensitivitätsanalyse eine Treibmittel-Zusammensetzung von 50% CO<sub>2</sub> und jeweils 25% FKW 134a und FKW 152a angenommen. Im Endergebnis führt dies zu einem erheblichen Trade-off bezüglich der Wirkungskategorie „Stratosphärischer Ozonabbau“ (die Belastung durch die Dämmung übersteigt die Entlastung durch die entsprechende Energieeinsparung um 500% in 2015 und geht auf 368% in 2050 zurück) und zu einer erkennbaren, jedoch nicht so deutlichen Wirkung auf das Treibhaus-Potenzial.

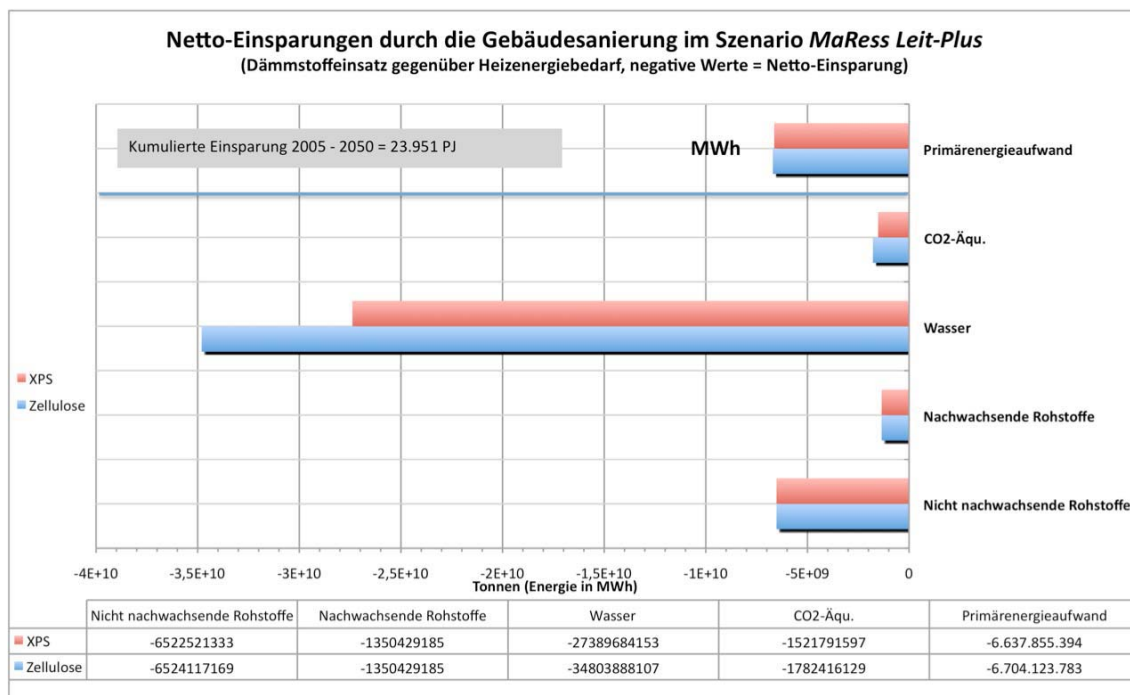
In einer zweiten Sensitivitätsanalyse wurde das alternative Dämmmaterial Zellulose (aus Altpapier) verwendet. Wie in Abb. 2 bereits zu sehen war, ist einerseits – bei gleichem Wärmedämmstandard – ein erheblicher Mehrverbrauch von Zellulose im Vergleich zu XPS zu verzeichnen, da XPS eine wesentlich geringere Dichte als Zellulose aufweist. Die Ökobilanzergebnisse zeigen jedoch, dass sich die an sich schon geringen Anteile der Dämmstoffe an den Wirkungsindikatoren weiter verringern.

Abb. 6: Relative Entwicklung von CML-Indikatoren im Szenario *MaRes Leit-Plus* (Sensitivität Treibmittel) – Werte zwischen 250 und 500% abgeschnitten



Quelle: Eigene Modellrechnungen

Abb. 7: Ergebnisse der Trade-off Analyse (Ressourceneinsatz versus Einsparungen) der Dämmstoffvarianten XPS und Zellulose



Quelle: Eigene Modellrechnungen

Betrachtet man neben den Wirkungsindikatoren aus der Ökobilanzierung auch das Ressourcenindikatoren-Set MIPS, so wird deutlich, dass XPS- und Zellulose-Dämmung mit vergleichbaren Auswirkungen auf die Materialintensität verbunden sind. Die kumulierten Nettoeffekte, die sich hier aus dem Dämmstoffeinsatz in Gegenüberstellung mit der Einsparung von Heizenergie ergeben, werden in Abb. 7 dargestellt. Sie umfassen eine Abschätzung der Salden des Primärenergieaufwandes, der Treibhausgasemissionen sowie des Bedarfs an Wasser, biotischen und abiotischen Rohstoffen. Die negativen Indikatorwerte zeigen dabei an, dass durch die Dämmwirkung und den damit verbundenen starken Heizenergieerückgang in beiden Fällen die Material-Mehrverbräuche durch die Einsparungen überkompensiert werden. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass ambitionierte Dämmstoffstrategien sowohl mittels XPS als auch Zellulose im Hinblick auf alle in diesem Arbeitsschritt analysierten Faktoren einen wesentlichen Beitrag sowohl zu Materialeffizienz- als auch zu Emissionsminderungszielen leisten.

Grundsätzlich können sich bei der Verwendung holzbasierter Dämmstoffe Konkurrenzsituationen ergeben. Im Fall der Zellulose wäre aber selbst bei einer Vollsanierung bis 2050 ausschließlich auf Basis dieses Dämmstoffes gemäß Abb. 2 mit einem Aufwand von durchschnittlich etwa 1,2 Millionen Tonnen Altpapier pro Jahr zu rechnen. Dies entspricht ca. 8% des inländischen Altpapieraufkommens in 2007 von 15,4 Millionen Tonnen (VDP 2010). In einem realitätsnahen Dämmstoffmix sind Nutzungskonkurrenzen mit der Recyclingpapier-Herstellung und indirekte Flächenkonkurrenzen um forstli-



che Ressourcen daher eher als gering einzuschätzen, aber dennoch im Rahmen der Festlegung einer Dämmstoffstrategie zu prüfen.

Da die energetischen Ressourcen einen wesentlichen Anteil an den Umweltauswirkungen des Bedarfsfeldes „Warmer Wohnraum“ haben, konnte in einem ersten Schritt dennoch die detaillierte Modellierung energie- und klimapolitischer Ansätze in Verbindung mit einer Ressourcenpolitik (insbesondere im Hinblick auf die Gebäudedämmung) durchgeführt werden. Dies stellt eine erhebliche Erweiterung bisheriger „reiner“ Energieszenarien dar, die nicht auf die Ressourcenseite fokussiert sind und in der Regel emissionsseitig nur Treibhausgasemissionen betrachten.

## 4 Politikempfehlungen und Forschungsbedarf

Die dargestellten Ergebnissen führen zu folgenden Politikempfehlungen:

- Energieeinspar- und Effizienzstrategien, wie sie in den verwendeten MaRess-Szenarien, die auf dem BMU-Leitszenario 2008 aufbauen, modelliert wurden, sollten zügig umgesetzt werden. Entsprechende politische Vorgaben hätten eine positive Wirkung auf fast alle Umweltwirkungskategorien, insbesondere den stofflichen Ressourcenverbrauch und fast alle Emissionsindikatoren.
- Der erhöhte Flächenverbrauch, der sich (indirekt) aus der Zunahme von Biomasse-Heizanlagen ergibt, sollte bei der Umsetzung einer Erneuerbare-Energien-Strategie bedacht werden. Hierzu bedarf es einer umfassenden Biomassestrategie, die den Einsatz für Ernährung, Materialien und Energie gemeinsam betrachtet und die inländische und ausländische Flächennutzung berücksichtigt.
- Aufgrund des erheblichen Trade-offs, der sich ergibt, wenn der Dämmstoff XPS nicht mit CO<sub>2</sub>, sondern mit Fluorkohlenwasserstoffen (FKW) aufgeschäumt wird, sollte industriepolitisch auf eine weitere Reduktion der FKW in Dämmstoffen hingewirkt werden. Während in Deutschland bereits weitgehend CO<sub>2</sub> verwendet wird (angenommen wurde ein Anteil von 90-96%), betrifft dies insbesondere Dämmstoffe, die in anderen Ländern der EU hergestellt werden.
- Nicht nur bei Dämmstoffen, sondern generell bei Baustoffen sollten vertieft die Ressourcenauswirkungen ihrer Herstellung analysiert werden und in industriepolitische Instrumente einfließen.
- Es sollte darauf hingewirkt werden, dass ein standardisierbarer Bilanzierungsansatz entwickelt wird, der die immer noch in Entwicklung befindliche Ökobilanz-Methodik mit umfassenden stofflichen Ressourcenindikatoren koppelt. Weiterhin sollten aktuelle, harmonisierte, reviewte und fortschreibbare Datensätze bereit gestellt werden.

Aus der Analyse der offenen Fragen, die sich während der Projektbearbeitung ergeben haben, wurde zudem eine Reihe von Forschungsaspekten abgeleitet, die in einem möglichen Nachfolgeprojekt mit ausreichenden Ressourcen bearbeitet werden sollten.

### Technologiemodell *HEAT*

- *Modellierung des Baubestandes*: Neben der hier erfolgten Betrachtung der Dämmmaterialien bei der energetischen Sanierung sollte auch eine Veränderung des eigentlichen Baubestandes modelliert werden. Hierunter fallen die Optionen Abriss, Neubau oder Recycling. Ebenso sollten neben der Dämmung weitere Materialien wie zum Beispiel der Austausch von Fenstern mit berücksichtigt werden. Ein solcher Arbeitsschritt erfordert die Bilanzierung der in den 44 verschiedenen Haustypen verbauten Stoffströmen sowie eine Abschätzung zukünftig erfolgreicher Materialströme durch Neubau oder Abriss. Aufgebaut werden kann in diesem Arbeitsschritt auf den Arbeiten aus MaRess-AS4.4, in der für drei Haustypen exemplarisch entsprechende Überlegungen angestellt wurden.
- *Erweiterung von HEAT*: Erweiterung des MaRess-Gebäudetypenmodells durch Siedlungstypenansatz zur besseren Einbettung von erneuerbaren Energien (Berücksichtigung vieler, dezentraler Anlagen inklusiver lokaler Netze und Speicher).
- *Berücksichtigung des Klimawandels*: Es sollten zukünftig Annahmen getroffen und nach Möglichkeit in die Modellrechnungen einbezogen werden, inwieweit sich der Klimawandel auf den Wärme- und Kältebedarf in Gebäuden auswirkt.

### Bottom-up Modellierung

- *Quantifizierung*: Von den Politik-Wissenschaftlern sollte die Quantifizierung von Politik-Ansätzen beziehungsweise bereits weiter entwickelter Instrumente methodisch angegangen werden. Ziel sollte es sein, die kurz-, mittel- und langfristigen Wirkungen identifizierter Politikmaßnahmen auf einer Zeitachse bis 2050 abschätzen zu können. Gleichzeitig sollte ein oder mehrere Zielindikatoren entwickelt werden, die in Langfrist-Szenarien modelliert werden können.
- *Weitere Bedarfsfelder*: Übertragung des entwickelten Ansatzes auf weitere Bedarfsfelder (zum Beispiel Mobilität, Ernährung oder Konsum). Hierzu müssen entsprechende „Technologiemodelle“, wie sie für das Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ mit dem *HEAT*-Modell vorlagen, genutzt oder neu entwickelt werden. Für das Bedarfsfeld Mobilität bietet sich beispielsweise die Kopplung mit dem TREMOD-Modell des ifeu Heidelberg an.
- *Erneuerbare und Ressourcenverbrauch*: Innerhalb des AS6.2 wurden Trade-offs zwischen Effizienzsteigerung, Ressourcenverbrauch und Emissionswirkungen gerechnet. Aufbauend auf dem entwickelten Modellansatz sollten ebenso der Ausbau der erneuerbaren Energien gemäß der *Leitstudie* und dessen Auswirkungen auf den Ressourcenverbrauch gerechnet werden. Insbesondere sollten die Szenarien der *Leitstudie* im Hinblick auf den globalen Flächenbedarf für alle Biomasseverbräuche in Deutschland überprüft werden.
- *Aktualisierung der Szenarien*: Die MaRess-Szenarien basieren auf den Szenarien der Leitstudie 2008. Nach Veröffentlichung der neuen *Leitstudie 2010* sollten die MaRess-Szenarien entsprechend angepasst werden.

### Bottom-up versus Top-down Modellierung

- Die Modellergebnisse der Bottom-up Modellierung sollten mit den Ergebnissen der von den Modellierern in AP5 parallel durchgeführten Top-down Rechnung abgeglichen werden. Dieser Schritt konnte in AS6.2 aus zeitlichen Gründen nicht mehr durchgeführt werden. Es sollte anhand eines Beispiels (etwa des Szenarios *MaRess Leit*) verglichen werden, ob nennenswerte Abweichungen zwischen den beiden Modellansätzen entstehen und wenn ja, worauf sie beruhen. Geprüft werden sollte, ob die Ergebnisse mittels eines Hybrid-Modells optimiert werden könnten. So könnten Daten des Top-down Modells im Bottom-up Modell eingesetzt werden, wenn dort keine eigenen Ökobilanzdaten oder Daten mit nicht ausreichender Qualität zur Verfügung stehen.

### Ökobilanzen und Ressourcenindikatoren

- *Kopplung von Ökobilanzen und MIPS*: Die Entwicklung der Ökobilanzmethodik (LCA) ist nicht abgeschlossen. So fehlt eine umfassende Erfassung und Bewertung abiotischer und biotischer Ressourcenentnahmen. Zu diesem Zwecke wurde zum Beispiel die MIPS-Methode entwickelt, die grundsätzlich eine Variante der LCA darstellt, mit einem Fokus auf die Input-Seite und umfassender Erhebung der Entnahmen von Primärmaterial. Einer der Hauptindikatoren des MIPS-Konzepts, der TMR, wird auch auf gesamtwirtschaftlicher Ebene eingesetzt und soll nach Verbesserung der Datenverfügbarkeit langfristig als „Headline“-Indikator eingesetzt werden (ESTAT, OECD).

Die Systemgrenzen und Allokationsregeln von LCA und MIPS entsprechen sich sehr weitgehend. Dennoch gibt es verschiedene Abweichungen, die künftig harmonisiert werden sollten. Auf der einen Seite existieren verschiedene international, langjährig weiter entwickelte Datenbanken mit Ökobilanz-Modulen (wie die hier verwendete ecoinvent-Datenbank). Diese sind gemäß Ökobilanz-Methodik auf die Emissionen von Produkten oder Dienstleistungen ausgerichtet, erfassen teilweise ausgewählte Substanzflüsse auf der Inputseite bis zur Förderung der Rohstoffe (mit dem Indikator „Erschöpfung abiotischer Ressourcen“). Auf der anderen Seite existiert die von MIPS bekannte Methodik, deren Schwerpunkt die Betrachtung der gesamten Ressourcenflüsse eines Produktes ist. Beide Ansätze werden bereits in einer Vielzahl von Einzelstudien kombiniert (u.a. in MaRess 1), wobei Schlüsselindikatoren wie THG-Emissionen mit MI-Kategorien sowie Flächenaufwand verbunden werden. Allerdings fehlt noch eine Harmonisierung im Bereich der bislang standardmäßig vertriebenen Ökobilanz-Software-Pakete.

Daher ist es nötig, beide Ansätze zu koppeln und idealerweise das Instrument der Ökobilanzierung um die beim MIPS-Konzept betrachteten Ressourcenkategorien zu erweitern. Dies erfordert einen Input in die LCA-Diskussion auf internationaler und nationaler Ebene, zum Beispiel über die UNEP/SETAC International Life Cycle Initiative oder das deutsche Netzwerk Lebenszyklusdaten.

- *Erweiterung bestehender Ökobilanz-Software:* Parallel zum ersten Punkt ist es notwendig, die MIPS-Methodik auch softwaretechnisch in Einklang mit Ökobilanzen zu bringen. Hier bietet es sich an, mit Software-Entwicklern (zum Beispiel ifu Hamburg für die Software Umberto) bestehende Software-Produkte und Datenbanken um den MIPS-Ansatz zu erweitern. Hierzu hatte es bereits Gespräche mit den Anbietern gegeben.
- *Weiterentwicklung von Ressourcenindikatoren:* Für viele der gängigen Umweltwirkungskategorien besteht weiterhin methodischer Forschungsbedarf. So ist auch hinsichtlich der Wirkungskategorie „Rohstoffbeanspruchung“ die Diskussion um einen geeigneten Rohstoffindikator noch nicht beendet. Indikatorensets wie MIPS zur Erfassung der lebenszyklusweiten Entnahme von Primärmaterial aus der natürlichen Umwelt stellen hier mögliche Lösungsansätze dar, deren Eignung und Richtungssicherheit im Rahmen eines Differenzierungsprozesses zu diskutieren und zu verbessern sind. Zu diesem Zweck wurde bereits ein internationaler Workshop unter Federführung des Wuppertal Instituts im Rahmen des MaRess-Projekts durchgeführt.
- *Erweiterung von Datenbeständen:*
  - Datenbestände zur Rohstoffbeanspruchung sollten aktualisiert und harmonisiert (Abgleich von Annahmen, Daten und Systemgrenzen) sowie dynamisiert (Fortschreibung auf 2025 und 2050) werden.
  - Ebenso sollte eine Reihe von Ökobilanz-Datenbeständen (zum Beispiel Geothermiekraftwerke, fossile Heizkraftwerke) aktualisiert und harmonisiert werden; Ressourcenindikatoren sollten in neue und in aktualisierte Datensätze integriert werden; hier bietet sich ebenso eine Zusammenarbeit mit dem deutschen Netzwerk Lebenszyklusdaten an.
  - Die Bestandsaufnahme ressourcenintensiver Infrastrukturen sollte weiter voran getrieben werden; Bestandserweiterung und Recyclingoptionen („urban mining“) sollten unter Anwendung verschiedener Langfristszenarien geprüft werden.
  - Die Prozesskettenmodellierung innerhalb von Ökobilanzen sollte mit dem Ziel weiter entwickelt werden, dynamische Veränderungen in der Prozesskette einfacher und umfassender berücksichtigen zu können (zum Beispiel veränderte Materialzusammensetzungen beziehungsweise Energiebedarfe in allen Produktionsstufen).

## 5 Literatur

- Acosta-Fernandez, José / Bleischwitz, Raimund / Krause, M. / Ritthoff, Michael / Scharp, M. / Stürmer, M. / Wilts, Henning et al. (2009): Verbesserung von Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung; Teilvorhaben 1: Potenzialermittlung, Maßnahmenvorschläge und Dialog zur Ressourcenschonung, Forschungsprojekt von Wuppertal Institut und Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung im Auftrag des Umweltbundesamtes; Berlin
- BMU (2008): Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas; Leitstudie 2008; Berlin
- DIN (2006a): Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006)
- DIN (2006b): Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitung (ISO 14044:2006)
- Guinée, Jeroen B. (Hrsg.) (2002): Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards; Band 7; Eco-efficiency in industry and science; Dordrecht u.a.: Kluwer Academic Publishers
- IER / RWI / ZEW (2009): Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030 (Energieprognose 2009); unveröffentlicht
- ifeu (2010): Fortschreibung und Erweiterung: Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030 (TREMOT, Version 5); Endbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes; Heidelberg.
- Öko-Institut / prognos (2009): Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken.
- VDP [Verband Deutscher Papierfabriken] (2010): Papier Recyceln. <http://www.vdp-online.de/pdf/Papierrecyceln.pdf> (24.09.2010)





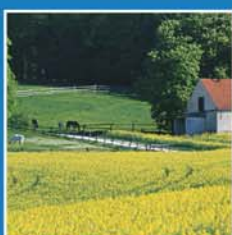
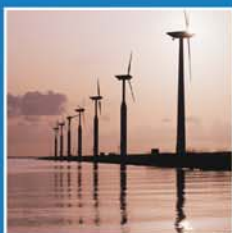
Stefan Bringezu  
Thomas Hanke  
Helmut Schütz  
Ole Soukup  
Peter Viebahn  
Manfred Fishedick (Task leader)

Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy

## Indicators / Bottom-Up Models and Scenarios

### Executive Summary

Executive Summary of Task 6 within the framework of the „Material Efficiency and Resource Conservation“ (MaRes) Project



Wuppertal, December 2010

ISSN 1867-0237

## Contact to the Authors:

Dr. Stefan Bringezu (for Task 6.1)

Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy  
Döppersberg 19, D-42103 Wuppertal

Phone: +49 (0)202 2492 -131, Fax: -138

E-mail: [stefan.bringezu@wupperinst.org](mailto:stefan.bringezu@wupperinst.org)

Dr. Peter Viebahn (for Task 6.2)

Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy  
Döppersberg 19, D-42103 Wuppertal

Phone: +49 (0)202 2492 -306, Fax: -198

E-mail: [peter.viebahn@wupperinst.org](mailto:peter.viebahn@wupperinst.org)

## *"Material Efficiency and Resource Conservation"* (MaRes) – Project on behalf of BMU | UBA

**Project Duration:** 07/2007 – 12/2010

### Project Coordination:

Dr. Kora Kristof / Prof. Dr. Peter Hennicke

Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy  
42103 Wuppertal, Germany, Döppersberg 19

Phone: +49 (0) 202 2492 -183 / -136, Fax: -198 / -145

E-Mail: [kora.kristof@wupperinst.org](mailto:kora.kristof@wupperinst.org)

[peter.hennicke@wupperinst.org](mailto:peter.hennicke@wupperinst.org)

© Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy

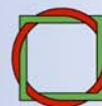
More information about the project

"Material Efficiency and Resource Conservation" (MaRes)

you will find on [www.ressourcen.wupperinst.org](http://www.ressourcen.wupperinst.org)

The project is funded within the framework of the UFOPLAN  
by BMU and UBA, FKZ: 3707 93 300

The authors are responsible for the content of the paper.



**Wuppertal Institute**  
for Climate, Environment  
and Energy

### Wuppertal Institute in Cooperation with

BASF  
Borderstep  
CSCP  
Daimler  
demea – VDI / VDE-IT  
ECN  
EFA NRW  
FhG IAO  
FhG UMSICHT  
FU Berlin  
GoYa!  
GWS  
Hochschule Pforzheim  
IFEU  
Institut für Verbraucherjournalismus  
IÖW  
IZT  
MediaCompany  
Ökopol  
RWTH Aachen  
SRH Hochschule Calw  
Stiftung Warentest  
ThyssenKrupp  
Trifolium  
TU Berlin  
TU Darmstadt  
TU Dresden  
Universität Kassel  
Universität Lüneburg  
ZEW



Federal Ministry for the  
Environment, Nature Conservation  
and Nuclear Safety

**Umwelt  
Bundes  
Amt**   
For our Environment

## Indicators / Bottom-Up Models and Scenarios

### Table of Contents

<b>Preface</b>	<b>3</b>
<b>PART I – Summary report of Task 6.1</b>	<b>5</b>
<b>PART II – Summary report of Task 6.2</b>	<b>7</b>
<b>1 Concept of the Model</b>	<b>7</b>
1.1 Goals and remit	7
1.2 The category of need “warm living space” as an element of the category of need “building and living”	8
1.3 The bottom-up impact analysis model “warm living space”	9
<b>2 Definition and Implementation of the MaRes scenarios</b>	<b>12</b>
2.1 Starting point: policy mix	12
2.2 Narrative description of the MaRes scenarios	13
2.3 Details of scenario interventions on the demand side and their drivers in <i>HEAT</i>	14
<b>3 Modelling Results and Conclusions</b>	<b>16</b>
<b>4 Policy Recommendations and Need for Research</b>	<b>22</b>
<b>5 Literature</b>	<b>26</b>

## Figures

Fig. 1:	Model concept for the category of need “warm living space”	10
Fig. 2:	Cumulative use of insulating materials (XPS and cellulose) in the MaRes scenarios <i>MaRes BAU</i> , <i>MaRes Leit-Minus</i> , <i>MaRes Leit</i> and <i>MaRes Leit-Plus</i>	16
Fig. 3:	Comparison of the demand for final energy in the MaRes scenarios <i>BAU</i> , <i>Leit-Minus</i> , <i>Leit</i> and <i>Leit-Plus</i> for room heat and hot water up to 2050	17
Fig. 4:	Relative development of environmental impact indicators in the <i>MaRes Leit-Plus</i> scenario	18
Fig. 5:	Absolute development of the environmental impact indicator “depletion of abiotic resources” in the <i>MaRes Leit-Plus</i> scenario	19
Fig. 6:	Relative development of CML indicators in the <i>MaRes Leit-Plus</i> ( <i>sensitivity of foaming agents</i> ) scenario – values between 250 and 500% are cut off	20
Fig. 7:	Results of the trade-off analysis (use of resources versus savings) of the insulating material variants XPS and cellulose	21

## Tables

Tab. 1:	Scenario-specific summary of influence factors in the area of buildings	15
---------	---	----

## **Preface**

This report is divided into two parts:

### **Part I: Material Use Indicators for Measuring Resource Productivity and Environmental Impacts**

Part I outlines the results of Task 6.1.

### **Part II: Bottom-Up Impact Analysis Model**

Part II outlines the results of Task 6.2.





## **PART I – Summary report of Task 6.1**

### **Material Use Indicators for Measuring Resource Productivity and Environmental Impacts**

Authors: Stefan Bringezu, Helmut Schütz

#### **Executive Summary**

The German government intended to assess the applicability of macro indicators measuring the use of resources by the German economy and requested suggestions for further use and development. In a broader context, this relates to the development of a national programme for sustainable resource management, which is, for instance, requested by the EU’s Thematic Strategy for Sustainable Use of Natural Resources. More specifically, the existing monitoring of progress towards sustainability in pursuit of the national strategy for sustainable development should be improved, through widening the scope of the raw material productivity indicator used so far.

The material flow accounting concepts of ESTAT and OECD provide a stepwise extension of indicators for resource use and resource productivity. Direct Material Input (DMI) and Domestic Material Consumption (DMC) build the basis; however, they do not account for indirect flows of imports and exports, nor consider unused extraction, thus missing the foreign dimension and the full extent of primary resource extraction. DMI and DMC can be accounted as raw material equivalents (RME) that accounts for indirect flows of used extraction thus leaving out unused extraction. The most comprehensive indicators accounting for the total global primary material requirements for production and consumption, i.e. including both used and unused extraction, account for Total Material Requirement (TMR) and Total Material Consumption (TMC).

Furthermore, the European Commission aims at developing indicators to account for environmental impacts associated with resource use, so as to be able to monitor progress towards double-decoupling which is a central issue in the Thematic Strategy on the Sustainable Use of Natural Resources.

The workshop brought experts and representatives of data users, data providers from research, and statistical offices together. Different approaches and positions were highlighted and discussed regarding basic methodological issues and interpretability of derived indicators. A mind map exercise worked out basic requirements of an ideal resource use indicator as seen by users, providers or statisticians. An interactive session on requirements for German official reporting and need for improvement put the focus further on the interest of the German government how to proceed with monitoring resource use and resource productivity.

Among the users of data and indicators there was a general tendency to go for RME first and then for TMR/TMC which was regarded as most comprehensive indicator.

Also impact related indicators received some attention of users. However, there was no clear attitude towards changing the current headline indicator in the short term.

Providers from research institutes confirmed their background for indicators work, with a general tendency – like users - to go for RME in the short term and for TMR/TMC in the longer run by following a modular approach and add up unused extraction to RME, while being open towards further research on resource use impact indicators.

Statisticians were in favour of the RME indicator and showed interest for TMR/TMC as well as for an impact related resource use indicator.

Apart from that, some critical open issues concerning the conceptual foundation of the different indicators were identified which require further discussion and harmonisation.

## PART II – Summary report of Task 6.2

### Bottom-Up Impact Analysis Model

Authors: Thomas Hanke, Ole Soukup, Peter Viebahn, Manfred Fischedick

## 1 Concept of the Model

### 1.1 Goals and remit

The aim of Task 6.2 was to analyse how policy approaches for increasing resource efficiency affect the resource balance, using the example of a chosen category of need, and to find out how successfully these approaches have been implemented. This study contains three levels of investigation:

- By developing and using an exemplary *bottom-up impact analysis model*, we seek to determine the direct and indirect effects of a policy mix identified by Task 3 (Innovative resource policy approaches to design framework conditions), 4 (Innovative resource policy approaches at the microscopic level: instruments and approaches close to companies) and 12 (Consumer and customer-oriented approaches to increase resource efficiency). In other words, our aim is to perform a “net” assessment of the resource flows resulting from various policy approaches. This method enables us to identify not only direct interactions, but also trade-offs and synergistic effects between measures under consideration.
- In addition to the impact on the resource area, interactions with other socio-political objectives (in particular, climate protection targets) should also be analysed simultaneously. In view of climate policy regulations in Germany and the European Union, for instance, we must ask ourselves whether measures to reduce resource flows are consistent with the reduction targets for greenhouse gas emissions. Other environmental impact areas on the emissions side include summer smog, the acidification of soils and bodies of water, and fine dust pollution, which can be determined using a *life cycle assessment model*.
- By applying and transferring the scenario analysis established in the energy sector, it was also possible to model the impact of various resource policy approaches in the same category of need, and to compare their impacts and how they differ. By modelling not only the actual situation, but also the development on a time line up to 2050, we were simultaneously able to analyse *long-term effects*. These effects are particularly relevant when the impact of resource efficiency measures apply to a period of several decades.

The ultimate aim was, then, to analyse whether the experiences gained in modelling the chosen category of need and the devised method can be applied to other categories of need. This part of the analysis is explored in Paper 6.1 “*Applicability of the bot-*

*tom-up impact analysis model to other categories of need.”* This paper shows that the model developed here is applicable to other categories of need under two conditions: first, measurable indicators must be available to enable the impact of policy instruments to be portrayed; second, a technical model for calculating changes to the chosen indicators with regard to the scenario over a specific time period must be operational for the respective category of need. In the category of need “mobility and transport”, for instance, this condition is met by the TREMOD model, developed by ifeu Heidelberg for the German Federal Environment Agency (see ifeu 2010).

## **1.2 The category of need “warm living space” as an element of the category of need “building and living”**

The sub-category of need “warm living space” within the category of need “building and living” was chosen. In accordance with the definition adopted here, this category of need comprises the demand for “warm living space” in Germany. “Warm living space” can be achieved using heating systems based on fossil fuels and renewable energies, using electric heating based on fossil fuel-fired electricity or renewables, or by optimising the energy situation of buildings (for example, heat insulation). In addition to the housing stock, new constructions and demolitions by 2050 will also be considered.

This category of need was selected for a number of reasons:

- The category of need “building and living” is a hot spot area with regard to the direct and indirect overall material expenditure involved in domestic sectoral production (Acosta-Fernandez et al. 2009). If, in addition, the consumption of energetic resources is analysed, the crucial importance of the category of need “warm living space” becomes apparent.
- Despite the considerable importance of the area of buildings to the question of resources, efficiency strategies have so far been explored only rather rudimentarily. In this paper, therefore, energy saving strategies and the resulting demand for insulating materials will be compared for the first time.
- Until now, measures taken to save energy and emissions in the area of buildings implicitly assume that there will be no negative trade-offs. Whether, for example, the impact of energy saving measures will perhaps be cancelled out by the energy required to produce the insulating materials can be assessed relatively easily by making a rough estimate. Less obvious, however, are the interactions ultimately resulting from energy- and process-related emissions with regard to various environmental impacts, which often depend primarily on the design of the process chains under consideration. This will be specifically investigated for the first time here by coupling a building energy model to a material flow model.
- In particular, due to the high expenditure of non-energetic resources required in the category of need “warm living space”, it is also interesting to analyse the trade-offs

between energy- and emission-driven strategies and more resource efficiency-driven strategies.

- Last but not least, Wuppertal Institute has developed a bottom-up method for the energy flows relevant to this area, implemented in the stock-exchange building model *HEAT*.

### **1.3 The bottom-up impact analysis model “warm living space”**

The bottom-up impact analysis model “warm living space” described below was developed to meet the targets outlined above. Fig. 1 shows the various modules contained in the model.

#### **Module 1: Modelling the category of need “warm living space” using *HEAT***

The purpose of the EDP system *HEAT* (Household Energy and Appliances modelling Tool) is to balance and monitor energy and emissions in the household sector. In addition to a differentiated household appliances side to determine power requirements, the system also contains a structural element-specific modelling of the building stock in Germany on the heat side. The system can be adjusted to regional and data requirements, and is able to differentiate between a maximum of 64 types of building.

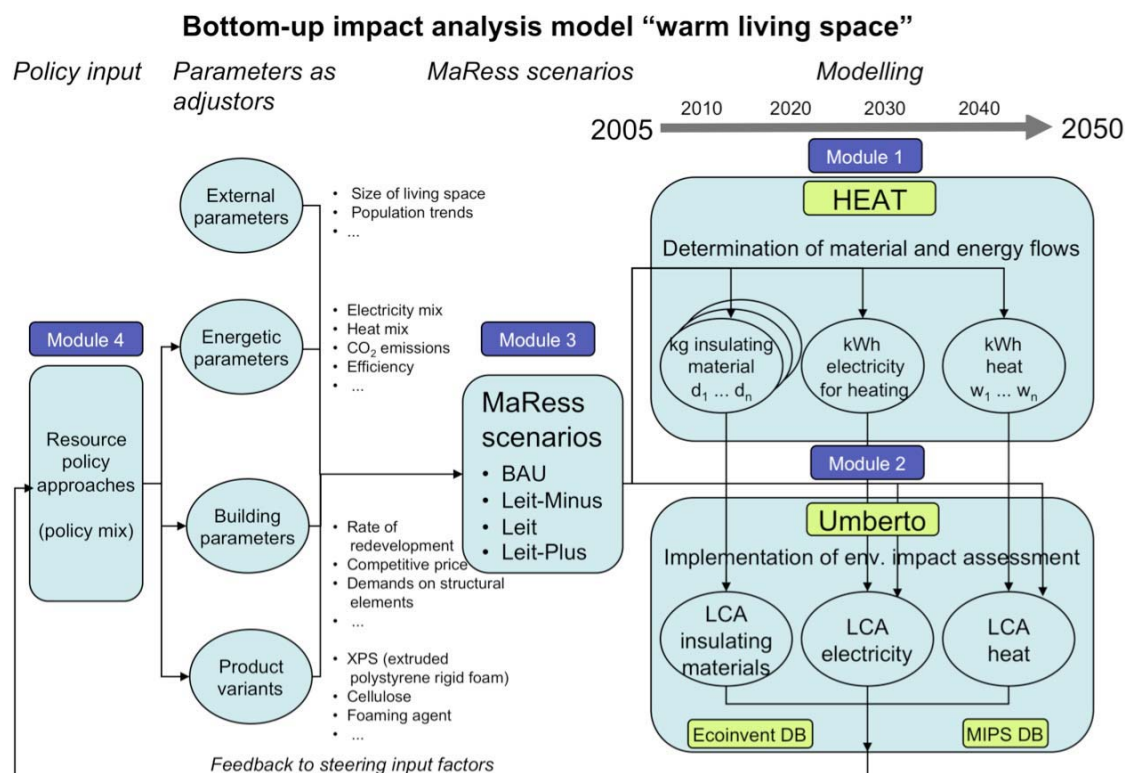
Within this technology model, the development of the final energy demand for the housing sector, divided into energy types, will be modelled for a long-term period up to 2050 for various scenarios, derived from resource policy regulations. At the same time, the direct demand for insulating materials will be determined, whereby the predicted requirements of heat transfer coefficients of building envelopes, for example, are assessed in the calculation of insulating material quantities. The whole building stock in Germany, including new constructions and demolitions, is considered for the years 2005, 2010, 2020, 2030, 2040 and 2050.

#### **Module 2: Environmental impact analysis**

The annual quantities of insulating materials used and the annual use of final energy in heating systems in the total building stock computed by *HEAT* are then entered into material and energy flow models, created using the software Umberto. To determine their environmental impacts, life cycle assessments are created in line with (DIN 2006a,b).

The results of these assessments finally undergo an environmental impact assessment, enabling an ecological overall assessment of materials and quantities of energy used to be made with the help of various environmental impact indicators, taking the respective upstream supply chains into consideration. We use the CML method (Guinée et al. 2002: 63ff), applied by a wide range of international users, which is characterised by its coverage of a multitude of impacts of various environmental media. These include impact categories on the emissions side and the input side.

Fig. 1: Model concept for the category of need “warm living space”



Ecoinvent: database of life cycle assessment modules; MIPS: database of MIPS modules of Wuppertal Institute;  
LCA = life cycle assessment; HEAT = building energy model; Umberto = life cycle assessment software

Material Efficiency & Resource Conservation

Source: Author's design

On the emissions side, the following impact categories are assessed: eutrophication, acidification, stratospheric ozone depletion, freshwater sediment ecotoxicity, sedimentary marine water ecotoxicity, freshwater aquatic ecotoxicity, marine aquatic ecotoxicity, terrestrial ecotoxicity, photo-oxidant formation, climate change, ionising radiation and human toxicity.

On the resource side, the following impact categories are assessed: *depletion of abiotic resources* and *land use*. The resource indicator captures the extraction of mineral raw materials and fossil fuels. On the basis of its relation between annual extraction and resource potential (“ultimate reserves”), its depletion potential is determined and converted to the reference resource antimony during characterisation.

These two indicators on the resource side provide information on the strain placed on energy, material and land resources by the product system, whereby 284 elementary flows of the “resource” category are assessed. The depletion potential, however, does not take into account the total quantity of abiotic and biotic resources used. To this end, we must also capture the “ecological rucksack” via indicators MIPS or TMR (one of the main categories of MIPS which is to be captured long-term at the economic level, too, as a key indicator of OECD, ESTAT and DESTATIS). Since, however, it is not possible



at present to carry out a consistent assessment including both life cycle assessment indicators and MIPS indicators (see need for research in Section 4), the life cycle assessment indicators are used here for the time being. In a sensitivity analysis, material intensities are additionally computed using MIPS in one case.

### **Module 3: MaResS scenarios**

Modelling within HEAT and Umberto is based on the definition and design of various “MaResS scenarios”. In the long-term perspective, these describe potential development paths to reduce energy demand (and hence energetic resources) in the private building sector. The scenarios cover a range from low to very high depths of (policy) intervention. Initially, they are oriented towards the instrument of energy modelling, since we have decades of experience and specific policy regulations or memorandums of understanding on this (see Section 2).

### **Module 4: Policy mix and influence parameters**

Drivers for the various scenarios are relevant influence parameters resulting from the policy mix of a resource policy. These variables, also called “adjustors”, determine the range of scenarios, showing a spectrum of potential developments up to 2050. These include

- *External parameters:* Framework indicators which reflect a general economic or social development, and are equally applicable to all scenarios, are combined under the general non-energetic drivers. They also include demographic trends and the associated development of living space, the development of structural element standards (since the quality of the respective standards within the scenarios are not varied, only their market shares), as well as the impact of accompanying measures on redevelopment rates.
- *Energetic parameters:* Assumptions were made on the development of the electricity mix and the heat mix in the benchmark years for all MaResS scenarios. In the material flow model, the respective electricity mix is taken as a basis for the direct power requirements for manufacturing insulating materials and the use of electricity for heating purposes. The heat mix is incorporated into the assessment of heat and hot water generation in households.
- *Building parameters:* In addition to the assumptions directly concerning energy scenarios, further assumptions were made for each scenario with regard to modelling the respective energy consumptions in the housing sector. These assumptions included the expected rate of redevelopment in the housing stock, the demands on the quality of structural elements and competitive prices related to the costs of redevelopment measures.
- *Product variants:* As sensitivity analyses, a variation of the insulating material and the composition of the foaming agents required for manufacturing the insulating material XPS was modelled. With the product variants, it will generally be possible

in future to take into account expected changes in production processes (resulting, for example, from technical innovations, the reduction of materials and energy used or the replacement of individual products by substitute materials).

Throughout the course of various impact indicators, the policy mix Module 4 is finally fed information about the degree to which the targets of original policy approaches have been achieved. It is then possible to adjust and optimise policy approaches if the targets are not met, and to adapt the MaRes scenarios accordingly.

## 2 Definition and Implementation of the MaRes scenarios

### 2.1 Starting point: policy mix

#### Basic idea of the planned modelling

The original aim of modelling the scenarios was to build on one of the policy mixes identified by Task 3, 4 and 12 and, in particular, to integrate resource policy measures into the scenarios or to develop our own specific resource scenarios. The best practice of creating scenarios known from energy modelling served here as the methodical basis. The key elements are:

- *Target orientation*: Definition of a long-term objective consisting of one or more target values – prominent examples are the energy scenarios that have been generated for years and which, in variant E1 of the Lead Scenario 2008 (BMU 2008), for example, focus on the target of achieving an 80% reduction in energy-related CO<sub>2</sub> emissions by 2050;
- *Scenario arrays*: Development of a large number of long-term scenarios which create development paths to achieve the target values set or which show how, and the extent to which, targets have not been met. Such scenarios usually range from little intervention (business-as-usual path) to deep intervention (with consequences to the point of changing the system).

To develop policy instruments, several coordination meetings and joint workshops took place between Modelling Task 5 (Quantitative and qualitative analysis of the economic effects of an accelerated resource efficiency strategy) and 6, as well as Policy Task 3, 4 and 12. In a nutshell, however, none of the resource policy approaches identified by the Policy Task can be directly applied to the modelled area concerning the redevelopment of residential buildings. The only two instruments identified as relevant would have been the taxation of construction materials (Task 3) and the resource certificate for buildings (Task 12). The former, however, takes only primary building materials into account, whilst insulating materials are modelled in Task 6.2; the latter was discarded due to major uncertainties regarding the values to be applied. It became evident that there is still need for further research concerning the connection of the scenario development to material flow modelling with the specification of housing-related instruments.

Even if quantifiable instruments were available, however, the challenge, from a technical point of view, is to be able to model them in material flow models. As mentioned above, integrating resource indicators into life cycle assessments constitutes another important research approach.

### **Alternative modelling approach chosen**

Due to the difficulties in defining specific resource targets, and the instruments to achieve them, existing climate policy targets and scenarios were reverted to. In established scenarios from this sector, such as variant E1 of the Lead Scenario 2008 (BMU 2008), a limitation of energy-related CO<sub>2</sub> emissions in Germany to 40% by 2020 compared to 1990 and to 80% by 2050 is generally modelled. These targets are often even more ambitious in more recent scenarios. For instance, a figure of -91% by 2050 is given in the innovation scenario according to the Öko-Institut and Prognos (2009). Even if these scenarios do not include specific resource targets, they are nevertheless of great relevance to the targets pursued in MaRes:

- Due to the energy demand in the power, heat and transport sectors, a large quantity of finite energetic resources (primary energy) is used. It therefore appears to be extremely relevant to consider these sectors, not only for climate policy, but also for resource policy (and security policy) reasons;
- until now, no assessments had been made of possible trade-offs between energy savings and the total consumption of raw materials. By coupling a building energy model to a material flow model, we now have the opportunity to analyse this specifically for the first time.

Against this background, the MaRes scenarios for the category of need “warm living space”, based on the respective energy scenarios, will be described in the following section.

## **2.2 Narrative description of the MaRes scenarios**

The *Lead Study 2008* by the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety served as a basis for creating the scenarios. The Lead Study is based on the target-oriented *Lead Scenario 2008*, which shows how energy-related CO<sub>2</sub> emissions in Germany can be reduced by approximately 20% by 2050 compared to the 1990 value (BMU 2008). It specifies the interim targets set by the German government for 2020, laid down in the resolutions of the German government, applicable laws and the regulations of the EU Commission. They concern stipulations on the reduction of CO<sub>2</sub> emissions, the increase of energy productivity and the contribution of renewable energies, triggering a structural change in energy supply. The heat mix in the household sector and the national average electricity mix from the energy scenarios are used for modelling purposes in Task 6.2.

The economic data and other underlying data (for example, population trends, household sizes) upon which all scenarios of the Lead Study are based were slightly ad-

justed. In particular, the economic data was revised downwards due to the economic crisis. Modelling in *HEAT* and top-down modelling in Task 5 are both based on the same adjusted data.

### **The MaRes BAU scenario**

To show how the *Lead Scenario 2008* contributes to climate protection and resource targets, it is advisable to model a reference development first. Since in the *Lead Study 2008* target-oriented scenarios were devised that were not compared to such a reference development, we first had to devise our own business-as-usual scenario (BAU). To achieve this, we used the reference scenarios from the World Energy Outlook (IER et al. 2009) and the WWF study “Modell Deutschland” (Öko-Institut and Prognos 2009).

### **The MaRes Leit-Minus scenario**

The *MaRes Leit-Minus* scenario corresponds to the *Defizitszenario D1* contained in the *Lead Study 2008*. On the one hand, it is assumed here that use of renewable energies will be expanded as intended, that is, that the quantity of power and heat generated in absolute quantities remains the same as in the *Lead Scenario 2008*. On the other hand, however, it is assumed that the package of measures to increase efficiency and to expand combined heat and power will have a lower impact. Consequently, the demand for energy increases, which is why the share of renewable energies declines in relative terms.

### **The MaRes Leit scenario**

The *MaRes Leit* scenario corresponds to the *Lead Scenario 2008*, described above.

### **The MaRes Leit-Plus scenario**

*MaRes Leit-Plus* differs to *MaRes Leit* in that the efforts to improve efficiency in the category of need “warm living space” have been *heightened* by further reducing the demand for heat energy. The simplified heat mix composition was kept constant, meaning that both fossil and renewable heat transfer media decrease in absolute terms.

## **2.3 Details of scenario interventions on the demand side and their drivers in HEAT**

Complementary to the basic assumptions on the energetic side, further influence factors or drivers (see Module 4) were set in the MaRes scenarios to implement efficiency measures in the housing sector. These were used to model the demand side in *HEAT*, and are outlined in Tab. 1.

Tab. 1: Scenario-specific summary of influence factors in the area of buildings

Scenarios				
Influence factors	<i>MaRes BAU</i>	<i>MaRes Leit-Minus</i>	<i>MaRes Leit</i>	<i>MaRes Leit-Plus</i>
<b>Objectives</b> • Lead Study 2008 • Other	a. Final energy b. Renewables	a. Final energy b. Renewables	a. Final energy b. Renewables	--- --- Result-oriented complete redevelopment whilst tapping the full potential of renewable energies from the Lead Scenario
<b>Lead indicators at the effective energy level (building efficiency)</b>				
<b>Redevelopment rate</b>	Residuum up to < 0.7% p.a. Current rate of redevelopment in the implementation of thermo-technical measures to the building envelope	Residuum up to < 0.7% p.a.	Residuum < 1.5% p.a. Promotion of accompanying measures (energy consulting, energy performance certificate, Reconstruction Loan Corporation (KfW))	< 2.5% p.a. Maximum implementation (complete redevelopment)
<b>Competitive price</b>		Residuum up to < 4.4 ct/kWh	Residuum up to < 6.7 ct/kWh	8.8 ct/kWh Oriented to future price trend of energy sources
<b>Amortisation expectation</b>		< 4 years Expected profit from household investments	< 10 years Average expectation of profit (banking practice)	< 15-20 years Oriented to life cycles of structural element renewals
<b>Demands on structural elements (old buildings)</b>	EnEV 2009 (Energy Saving Ordinance)	EnEV 2009	-15% HT' (average heating heat requirements) (based on EnEV 2009)	Gradual tightening from 2020 to 2050 to passive house
<b>New buildings up to 2020 2020-2050</b>		Residuum -15% HT'	Residuum -80% HT'	-80% HT' Passive house
<b>Lead indicator(s) at the final energy level (heating system mix/efficiency)</b>				
<b>Potential renewable energies</b>	SPECIFICATION of reference development	SPECIFICATION from the Lead Scenario (D1 reduced efficiency)	14.8% of the demand for heat in 2020 (excluding heat flow)	Absolute values from the Lead Scenario
<b>Technical progress (specifically degree of utilisation)</b>	BAU	BAU	BAU	BAU

Source: Author's compilation

### 3 Modelling Results and Conclusions

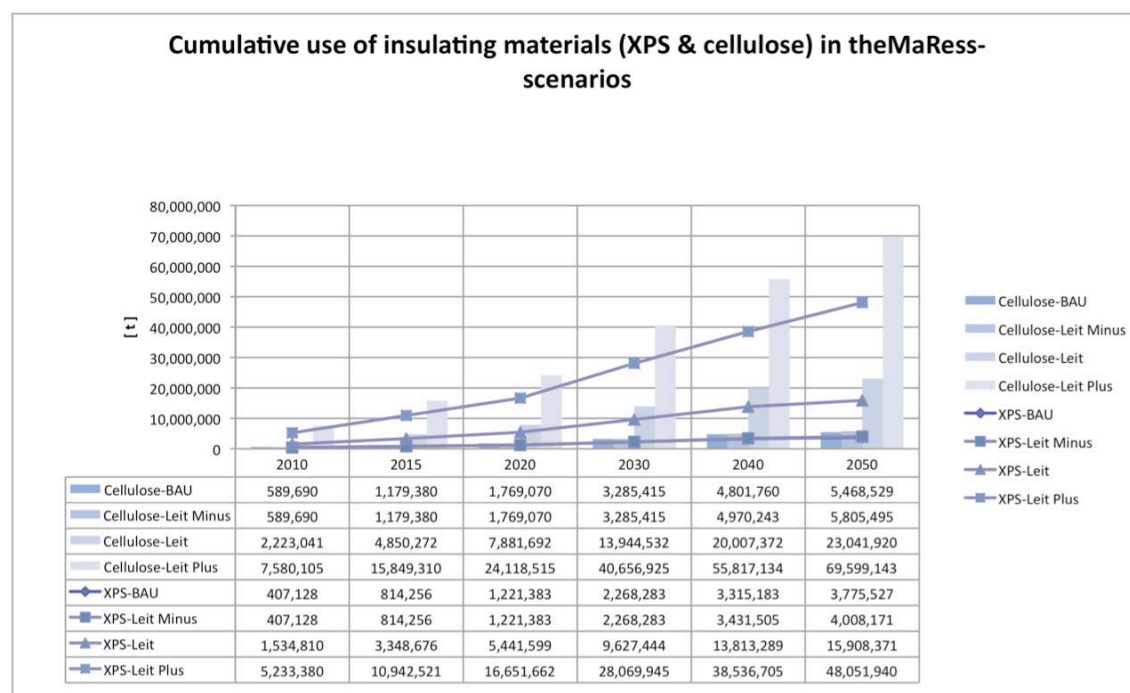
Modelling in Task 6.2 revealed a plethora of new findings. The three key results on the methodological side are

- the development of the bottom-up impact analysis model and its exemplary application to the category of need “warm living space”,
- a trade-off analysis, conducted for the first time, between increasing efficiency, resource consumption and emission impacts, and
- the expansion of “pure” energy scenarios by resource policy analyses, made possible by this analysis.

The key result of the model analysis is that the additional expenditure for insulating materials is overcompensated in almost all environmental impact categories due to considerable savings on building heating only both the resource and the emissions side. Essentially, no trade-offs are perceptible, and the percentage contribution of insulating materials to the environmental impact indicators is low.

Fig. 2 shows the development of the cumulative use of insulating material in the four MaRes scenarios (in the base case, we used the insulating material XPS, portrayed as a line). The increasing demand for insulating materials associated with ever deeper intervention based on policy stipulations is clearly visible, particularly in the *MaRes Plus* scenario.

Fig. 2: Cumulative use of insulating materials (XPS and cellulose) in the MaRes scenarios *MaRes BAU*, *MaRes Leit-Minus*, *MaRes Leit* and *MaRes Leit-Plus*

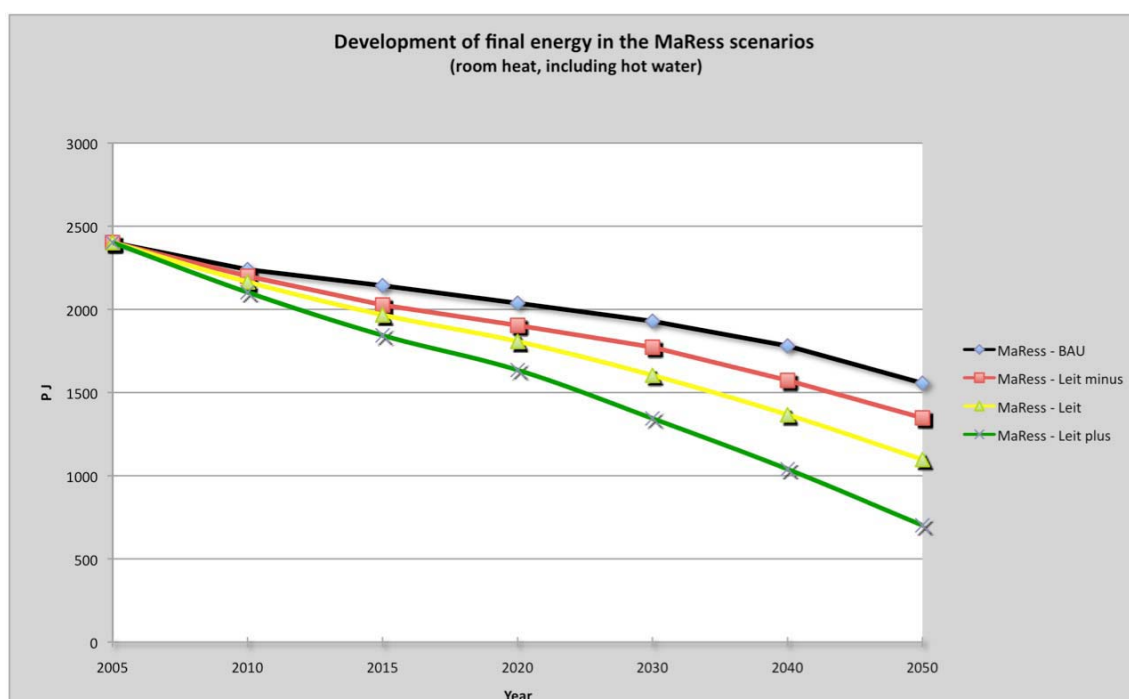


Source: Author's model calculations



Fig. 3 shows the reduction in final energy (room heat, including hot water) resulting from the use of insulating materials. In the business-as-usual path (*MaRes BAU*), a 35% reduction by 2050 is possible. In the *MaRes Leit-Plus* scenario, the quality of redevelopment measures (gradual intensification of the redevelopment of old buildings to passive house standard) has a particular impact on the demand for effective energy, leading to consistent reductions in effective energy, final energy and emissions in connection with the use of renewable energies. The enforced saving strategy leads to effective energy savings of 1,250 PJ and final energy savings of approximately 1,700 PJ, or 70%.

Fig. 3: Comparison of the demand for final energy in the MaRes scenarios *BAU*, *Leit-Minus*, *Leit* and *Leit-Plus* for room heat and hot water up to 2050



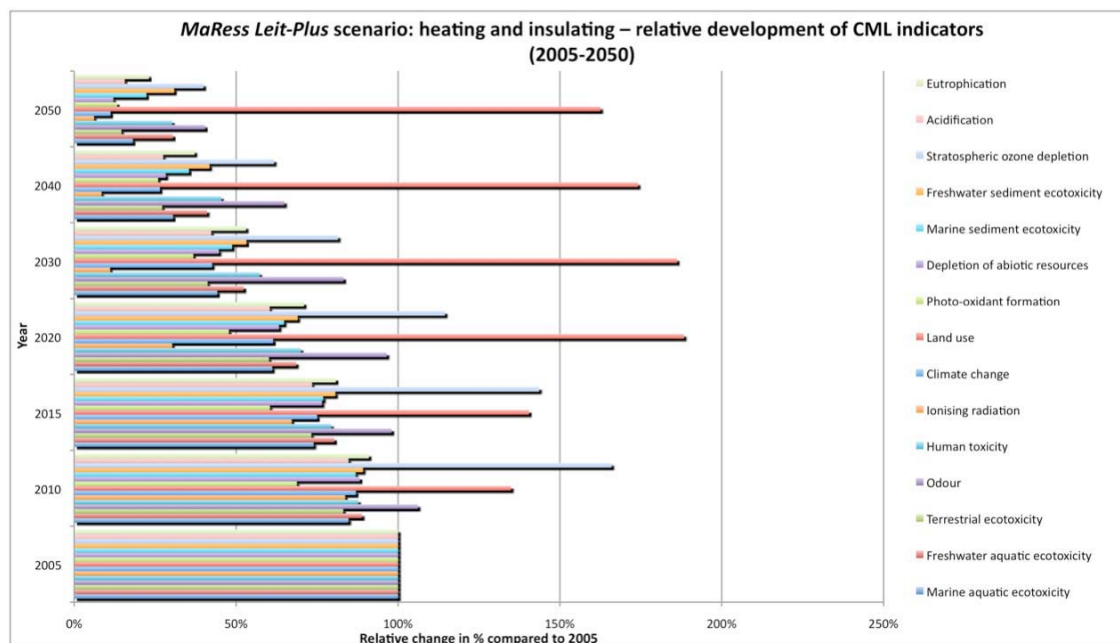
Source: Author's model calculations

If we compare the development of environmental impacts along the four scenarios, it becomes evident that, even in the reference case – the *MaRes BAU* scenario – a continuous, but moderate net decline of 30-50% by 2050 compared to 2005 can be observed in all of the impact category indicators considered. As expected, this decline increases steadily the more resource and climate policy is accelerated, and reaches a net reduction of 70-90% in the same period in the *MaRes Leit-Plus* scenario (see Fig. 4).

Here, however, (and also in the *MaRes Leit* scenario not shown here) initially opposing developments can be observed in three environmental impact categories: the two

impact categories “odour” and “stratospheric ozone depletion” increase up to 2010, and only then decrease analogously to the other categories. The impact category “land use” increases up to 2020, and only then drops (slightly).

Fig. 4: Relative development of environmental impact indicators in the *MaRes Leit-Plus* scenario



Source: Author's model calculations

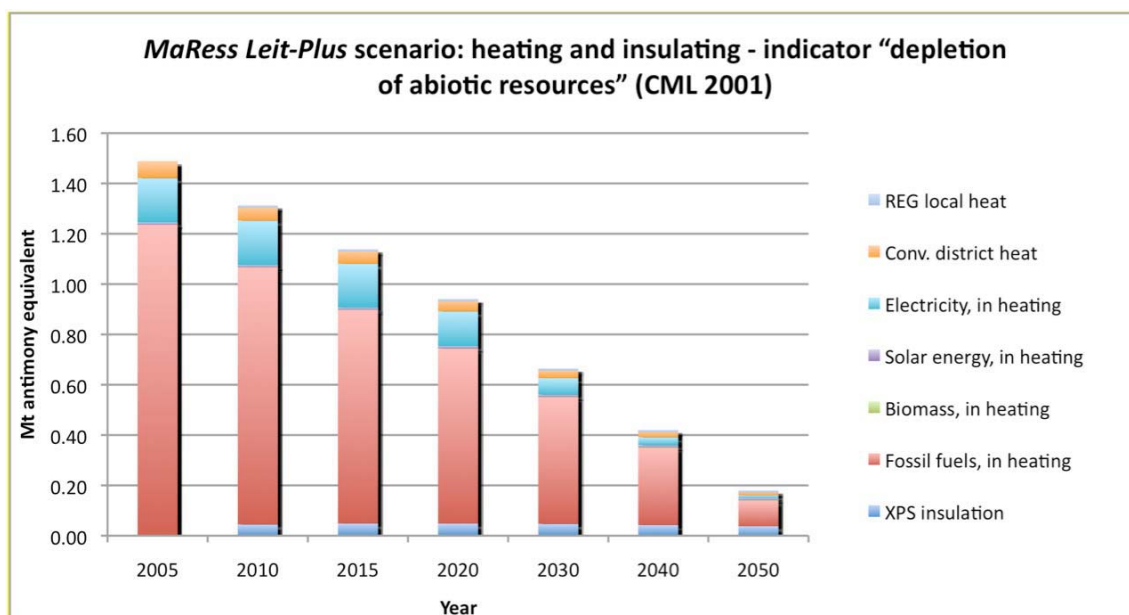
This is due to the following developments:

- The indicator “odour”, dominated by fossil fuels, initially exceeds the value of the base year due to increasing proportions of biomass in the electricity mix and regenerative local heat, but falls below it by 2050, as a result of savings in fossil fuel heat energy. The increased use of biomass can also impact on the particulate air pollution which is not captured separately here, but is included in the indicator “human toxicity”.
- The indicator “stratospheric ozone depletion”, dominated essentially by the use of fossil fuel-fired heating, also increases initially by over 50% of the value of the base year 2005, due to additional process-related emissions in the manufacture of XPS insulating materials. This effect is compensated as early as from 2030 due to savings in fossil heat energy caused by insulation. In the further course of time, the impact drops considerably by around 60% of the reference value by 2050.
- The rise in the indicator “land use” is also a result of the increased use of biomass heating in the heat mix. Due to the increased use of biomass in pellet and firewood heating, this is the only indicator that is higher in 2050 than the base value of 2005. However, this development must be seen independently from efficiency measures, since it is based on scenario assumptions on covering the remaining need for heat

by renewable energies. Since, in the event of the growing need for forest biomass and restricted domestic potential, increased competitive usages can be expected with material uses and increasing import dependencies, the Lead Scenario of the BMU should be reviewed on the basis of a comprehensive biomass concept, taking domestic and foreign land use into consideration.

It can also be seen from Fig. 4 that the impact indicator “depletion of abiotic resources” will drop continually, despite the extensive use of insulating materials. In a detailed analysis, Fig. 5 shows which processes contribute to the depletion of natural resources, in turn using the example of the *MaRes Leit-Plus* scenario. According to this, the share of XPS insulating material is very low: 3% in 2010 and 10% in 2050. The impact results primarily from the use of fossil sources of energy for heating purposes.

Fig. 5: Absolute development of the environmental impact indicator “depletion of abiotic resources” in the *MaRes Leit-Plus* scenario

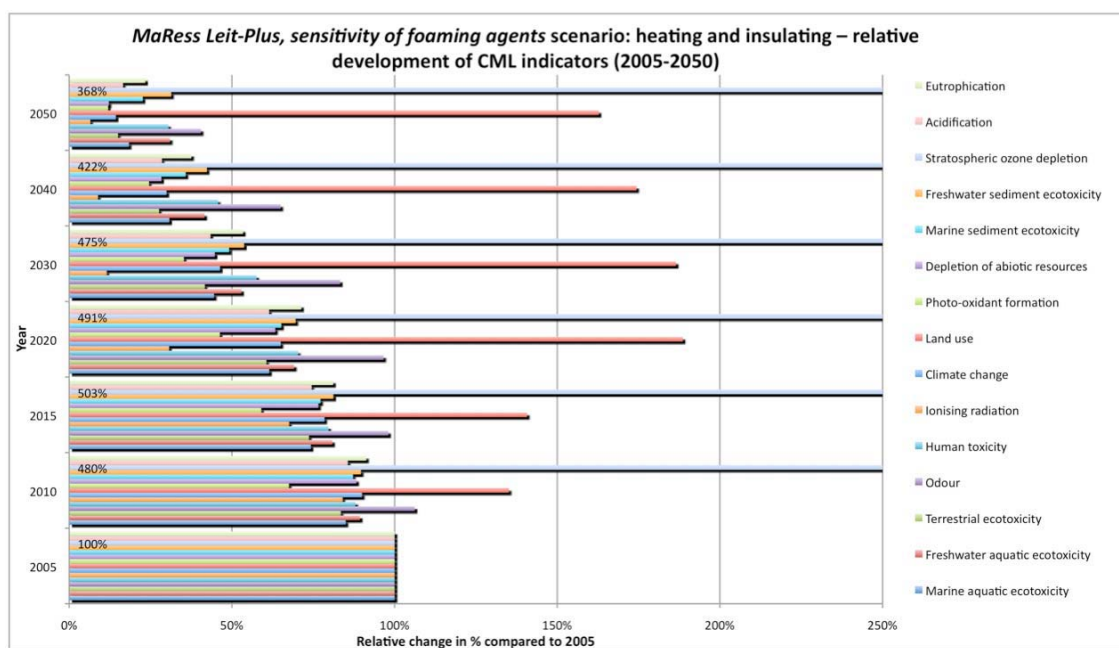


Source: Author's model calculations

The choice of foaming agent in the foamed XPS insulating materials is important (see Fig. 6): it was assumed for the base analysis that 90-96% of the XPS used in Germany was foamed using CO<sub>2</sub>, whilst the remainder was foamed in equal parts by the fluorocarbons HFC-134a and HFC-152a. Since this proportion may differ considerably in other countries, in a sensitivity analysis a foaming agent composition of 50% CO<sub>2</sub> and 25% each of HFC-134a and HFC-152a was assumed. In the final result, this leads to a considerable trade-off with regard to the impact category “stratospheric ozone depletion” (the impact of insulation exceeds the relief caused by the 500% energy savings in 2015, and decreases to 368% in 2050) and to a perceptible, yet not very considerable impact on the greenhouse potential.

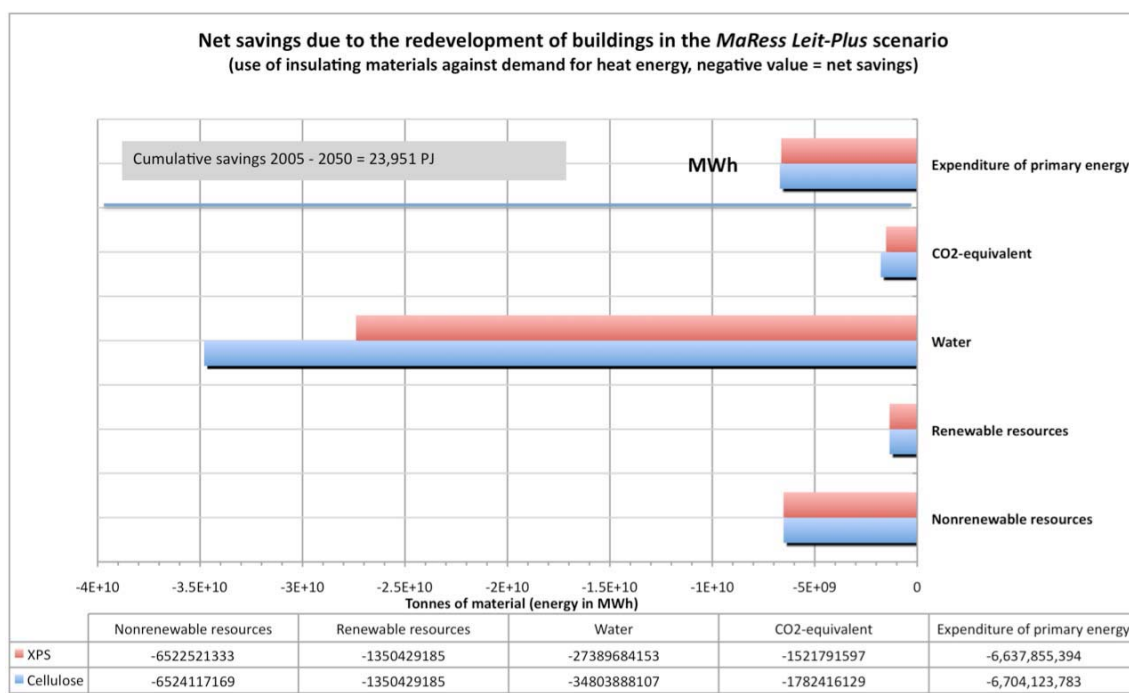
In the second sensitivity analysis, the alternative insulating material cellulose (made of recovered paper) was used. As seen above in Fig. 2, there is a considerable additional consumption of cellulose compared with XPS – with the same heat insulating standard. This is because XPS has a substantially lower density than cellulose. The results of the life cycle assessment show, however, that even the already small proportions of insulating materials in the impact indicators decrease yet further.

Fig. 6: Relative development of CML indicators in the *MaRes Leit-Plus (sensitivity of foaming agents)* scenario – values between 250 and 500% are cut off



Source: Author's model calculations

Fig. 7: Results of the trade-off analysis (use of resources versus savings) of the insulating material variants XPS and cellulose



Source: Author's model calculations

If, in addition to the impact indicators from the life cycle assessment, the resource indicator set MIPS is taken into consideration, it becomes evident that XPS and cellulose insulation have a comparative impact on the material intensity. The cumulative net impact from the use of insulating materials compared with the savings from heat energy is portrayed in Fig. 7. They include an estimate of the balances of primary energy expenditure, greenhouse gas emissions and the need for water, biotic and abiotic raw materials. The negative indicator values show that, due to the impact of insulating materials and the associated considerable reduction in heat energy, the additional consumption of material is overcompensated by savings in both cases. In summary, ambitious insulating material strategies using not only XPS, but also cellulose, make a considerable contribution to both material efficiency and emission reduction targets with regard to all of the factors analysed in this Task.

In general, competitive situations can arise in the use of wood-based insulating materials. According to Fig. 2, in the case of cellulose, however, even with a complete redevelopment by 2050 exclusively on the basis of this insulating material, an average annual expenditure of around 1.2 million tonnes of recovered paper must be assumed. This value equates to approximately 8% of the quantity of domestic recovered paper in 2007, which amounted to 15.4 million tonnes (VDP 2010). In a realistic insulating material mix, competitive usages with the manufacture of recycled paper and indirect competition for space for forest resources are therefore assessed as low, but should nevertheless be investigated when devising an insulating material strategy.

Since energy resources make up a considerable share in the environmental impact of the category of need “warm living space”, it was nevertheless possible in the first step to model in detail energy and climate policy approaches in connection with resource policy (in particular with regard to building insulation). This constitutes a considerable expansion of previous “pure” energy scenarios, which do not focus on the resource side, and generally consider only greenhouse gas emissions on the emissions side.

## 4 Policy Recommendations and Need for Research

The results presented here lead to the following policy recommendations:

- The energy savings and efficiency strategies modelled in the MaRes scenarios, based on the BMU Lead Scenario 2008, should be implemented promptly. Relevant policy guidelines would have a positive effect on virtually all environmental impact categories, in particular the consumption of material resources and almost all emissions indicators.
- The increased consumption of land arising (indirectly) from the increase in biomass heating plants should be taken into consideration when implementing a renewable energy strategy. To this end, a comprehensive biomass strategy is required that takes into account the use for food, materials and energy, and the domestic and foreign use of space.
- Due to the considerable trade-off arising when XPS insulating material is not foamed using CO<sub>2</sub>, but using fluorocarbons (HFC), a further reduction of HFC in insulating materials should be supported in industrial policy. Whilst in Germany, CO<sub>2</sub> is already predominantly used (a proportion of 90-96% was assumed), this concerns insulating materials manufactured, in particular, in other EU Member States.
- The impact on resources in the manufacture of insulating materials and building materials in general should be analysed in depth, and included in industrial policy instruments.
- Efforts should be made to develop a standardisable assessment approach that couples life cycle assessment methods currently being developed to comprehensive material resource indicators. In addition, current, harmonised, reviewed and continuable datasets should be made available.

In addition, a series of research aspects was derived following the analysis of the unanswered questions that arose during the implementation of the project. These aspects ought to be explored in a possible follow-up project with adequate resources.

### Technology model *HEAT*

- *Modelling building stock:* In addition to our examination of insulating materials in the framework of energy-saving redevelopment measures, a change in the actual building stock should be modelled. This includes the options of demolition, new con-



struction or recycling. Other materials besides insulation, such as replacing windows, should be taken into consideration. Such a work step necessitates the assessment of the material flows used to build the 44 different house types, as well as an assessment of future material flows arising from new constructions and demolitions. In this Task, we can build on the work from MaRes Task 4.4, in which considerations were made for three exemplary house types.

- *Expansion of HEAT*: Expansion of the MaRes building type model by the estate type approach to enable renewable energies to be included more effectively (consideration of many decentralised plants, including local grids and hot water storage tanks).
- *Consideration of climate change*: In future, assumptions should be made on the extent to which climate change will impact on the need for heat and air conditioning in buildings, which, if possible, should be included in the model calculations.

### Bottom-up modelling

- *Quantification*: Political scientists should methodically quantify policy approaches or more advanced instruments. The aim should be to have the ability to assess the short-, medium- and long-term effects of identified policy measures on a time line up to 2050. At the same time, one or more target indicators should be developed that can be modelled into long-term scenarios.
- *Other categories of need*: The devised approach could be transferred to other categories of need (for example, mobility, nutrition or consumption). To this end, relevant “technology models”, such as that available for the category of need “warm living space” in the form of the *HEAT* model, would have to be used or developed. For the category of need “mobility”, it would make sense, for instance, to couple it to ifeu’s TREMOD model.
- *Renewables and consumption of resources*: Trade-offs between raising efficiency, consumption of resources and the impact of emissions were calculated in Task 6.2. Building on the model approach developed, the expansion of renewable energies in accordance with the *Lead Study*, and its impact on the consumption of resources should be computed. In particular, the scenarios of the *Lead Study* with regard to total demand for land for all biomass consumptions in Germany should be reviewed.
- *Scenario update*: The MaRes scenarios are based on scenarios from the *Lead Study* 2008. Following the publication of the new *Lead Study* 2010, the MaRes scenarios should be updated accordingly.

### Bottom-up versus top-down modelling

- The model results from bottom-up modelling should be aligned with the results of the top-down computation carried out in parallel by modellers in Task 5. This step could no longer be carried out in Task 6.2, due to time limitations. Using an exam-



ple (such as the *MaRes Leit* scenario), it should be investigated whether appreciable deviations exist between the two model approaches and, if so, what causes them. It should be explored whether the results could be optimised using a hybrid model. Data from the top-down model could then be applied to the bottom-up model if it does not contain its own life cycle assessment data, or if the quality of such data is inadequate.

### **Life cycle assessments and resource indicators**

- *Coupling life cycle assessments to MIPS*: The life cycle assessment (LCA) method has not yet been fully developed. For one, there is no capture and assessment of the abiotic and biotic use of resources. For this purpose, the MIPS method, for instance, was developed. This method is a variant of the LCA that focuses on the input side and comprehensively captures the use of primary material. One of the main indicators of the MIPS concept – the TMR – is also used at the macroeconomic level and, following improvements to data availability, is to be used long-term as the headline indicator (ESTAT, OECD).

The system boundaries and allocation rules of LCA and MIPS are very similar. Nonetheless, several deviations should be harmonised in future. On the one hand, various international databases with life cycle assessment modules have been developed over a number of years (such as the ecoinvent database used here). According to the life cycle assessment method, these are oriented to emissions caused by products or services, and partially capture selected substance flows on the input side, up to the extraction of raw materials (with the indicator “depletion of abiotic resources”). On the other hand, the method used in MIPS focuses on considering the whole resource flows of a product. Both approaches have already been combined in a plethora of single studies (including in MaRes 1), whereby key indicators, such as greenhouse gas emissions, are combined with MI categories such as land use. However, there is no harmonisation in the area of previous standard life cycle assessment software packages.

For this reason, the two approaches must be coupled and the resource categories considered in the MIPS concept should, ideally, be added to the life cycle assessment instrument. This requires an input in the LCA discussion at international and national level, for example, via the UNEP/SETAC International Life Cycle Initiative or the German Life Cycle Inventory network.

- *Expansion of existing life cycle assessment software*: In line with the first point, the MIPS method must also be harmonised with life cycle assessments with regard to software technology. Here, it would make sense to add the MIPS approach to existing software products and databases, with the assistance of software developers (for example, ifu Hamburg for the software Umberto). Discussions have already been held with the providers.

- *Further development of resource indicators:* There is still a need for methodological research in many of the established environmental impact categories. For instance, with regard to the impact category “use of raw materials”, discussions on a suitable raw material indicator have not yet been concluded. Indicator sets such as MIPS to capture the extraction of primary material from the natural environment across the life cycle is a possible solution in this case. The suitability and security of direction of such solutions should be discussed and enhanced within a differentiation process. To this end, an international workshop under the leadership of the Wuppertal Institute has already been held within the scope of the MaRes project.
- *Expansion of data inventories:*
  - Data inventories on the use of raw materials should be updated and harmonised (alignment of assumptions, data and system boundaries) and dynamised (projection to 2025 and 2050).
  - Equally, a series of life cycle assessment data inventories (for example, geothermal power plants, fossil fuel-fired combined heat and power plants) should be updated and harmonised; resource indicators should be integrated into new and updated datasets; collaboration with the German Life Cycle Inventory network would also be of interest here.
  - The stock-taking of resource-intensive infrastructures should be advanced further; the expansion of stock and recycling options (“urban mining”) should be examined using different long-term scenarios.
  - Process chain modelling within life cycle assessments should be further advanced to be able to take dynamic changes in the process chain into consideration more easily and comprehensively (for example, changed material compositions or energy demands in all stages of production).

## 5 Literature

- Acosta-Fernandez, José / Bleischwitz, Raimund / Krause, M. / Ritthoff, Michael / Scharp, M. / Stürmer, M. / Wilts, Henning et al. (2009): Verbesserung von Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung; Teilvorhaben 1: Potenzialermittlung, Maßnahmenvorschläge und Dialog zur Ressourcenschonung, Forschungsprojekt von Wuppertal Institut und Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung im Auftrag des Umweltbundesamtes; Berlin
- BMU (2008): Weiterentwicklung der “Ausbaustrategie Erneuerbare Energien” vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas; Leitstudie 2008; Berlin
- DIN (2006a): Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006)
- DIN (2006b): Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitung (ISO 14044:2006)
- Guinée, Jeroen B. (Ed.) (2002): Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards; Band 7; Eco-efficiency in industry and science; Dordrecht u.a.: Kluwer Academic Publishers
- IER / RWI / ZEW (2009): Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030 (Energieprognose 2009); unveröffentlicht
- ifeu (2010): Fortschreibung und Erweiterung: Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030 (TREMOT, Version 5); Endbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes; Heidelberg.
- Öko-Institut / prognos (2009): Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken.
- VDP [Verband Deutscher Papierfabriken] (2010): Papier Recyceln. <http://www.vdp-online.de/pdf/Papierrecyceln.pdf> (24.09.2010)

**Stefan Bringezu**  
**Helmut Schütz**

Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy

## **Material Use Indicators for Measuring Resource Productivity and Environmental Impacts**

**Workshop – Berlin, 25-26 February 2010**  
**Final report**

Paper within the framework of the „Material Efficiency and  
Resource Conservation“ (MaRes) Project



## Contact to the Authors:

Dr. Stefan Bringezu / Dr. Helmut Schütz

Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy  
D - 42103 Wuppertal, Döppersberg 19

Phone: +49 (0) 202 2492 -131, Fax: -138

Email: [Stefan.bringezu@wupperinst.org](mailto:Stefan.bringezu@wupperinst.org)  
[Helmut.schuetz@wupperinst.org](mailto:Helmut.schuetz@wupperinst.org)

***"Material Efficiency and Resource Conservation"***  
***(MaRes) – Project on behalf of BMU I UBA***

**Project Duration:** 07/2007 – 12/2010

### Project Coordination:

Dr. Kora Kristof / Prof. Dr. Peter Hennicke

Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy  
42103 Wuppertal, Germany, Döppersberg 19

Phone: +49 (0) 202 2492 -183 / -136, Fax: -198 / -145

E-Mail: [kora.kristof@wupperinst.org](mailto:kora.kristof@wupperinst.org)  
[peter.hennicke@wupperinst.org](mailto:peter.hennicke@wupperinst.org)

© Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy

More information about the project

"Material Efficiency and Resource Conservation" (MaRes)  
you will find on [www.ressourcen.wupperinst.org](http://www.ressourcen.wupperinst.org)

The project is funded within the framework of the UFOPLAN  
by BMU and UBA, FKZ: 3707 93 300

The authors are responsible for the content of the paper.



**Wuppertal Institute**  
for Climate, Environment  
and Energy

### Wuppertal Institute in Cooperation with

BASF  
Borderstep  
CSCP  
Daimler  
demea – VDI / VDE-IT  
ECN  
EFA NRW  
FhG IAO  
FhG UMSICHT  
FU Berlin  
GoYa!  
GWS  
Hochschule Pforzheim  
IFEU  
Institut für Verbraucherjournalismus  
IÖW  
IZT  
MediaCompany  
Ökopool  
RWTH Aachen  
SRH Hochschule Calw  
Stiftung Warentest  
ThyssenKrupp  
Trifolium  
TU Berlin  
TU Darmstadt  
TU Dresden  
Universität Kassel  
Universität Lüneburg  
ZEW



Federal Ministry for the  
Environment, Nature Conservation  
and Nuclear Safety

**Umwelt  
Bundes  
Amt**   
For our Environment

# Material Use Indicators for Measuring Resource Productivity and Environmental Impacts

## Content

<b>Kurzfassung</b>	<b>3</b>
<b>Executive Summary</b>	<b>5</b>
<b>Introduction</b>	<b>7</b>
<b>1 Overview</b>	<b>9</b>
1.1 Resource Use Indicator - Mind-mapping	9
1.2 Assessment of indicators	12
1.3 Essentials of the presentations	15
1.3.1 Introduction to the topic – overview and target questions of the workshop (S. Bringezu, WI, Germany)	15
1.3.2 The OECD framework of accounting for material flows and resource productivity and recent experiences in Japan (Y. Moriguchi, NIES, Japan)	15
1.3.3 Measuring material use and resource productivity in Europe (S. Moll, Eurostat)	16
1.3.4 Measuring DMI, DMC, TMR and TMC of Germany (H. Schütz, WI, Germany)	17
1.3.5 DMI and DMC of Germany calculated as Raw Material Equivalents (S. Buyny, Destatis, Germany)	17
1.3.6 Accounting for impacts of resource use – outline of a challenge and recent approaches (S. Bringezu, WI, Germany)	17
1.3.7 The Environmentally weighted Material Consumption – EMC (E. Van der Voet, CML, Netherlands)	18
1.3.8 Correlations of mass flow based indicators with environmental impacts (J. Giegrich, IFEU, Germany)	19

1.4	Final statements of participants	19
1.5	Open issues	19
<b>2</b>	<b>Outlook and next steps</b>	<b>21</b>
	<b>References and further reading</b>	<b>23</b>
	<b>Nomenclature</b>	<b>25</b>
	<b>Annexes</b>	<b>27</b>

## Tables

Tab. 1:	Mind-mapping results – ranking by total points	11
Tab. 2:	Requirements for German official reporting – experts judgements	13
Tab. 3:	Need for improvement – experts judgements	14



## Kurzfassung

Die Bundesregierung beabsichtigte, die Anwendung von Makroindikatoren zur Messung des Ressourcenverbrauchs der deutschen Wirtschaft zu untersuchen, und erwartete Vorschläge zur weitergehenden Anwendung und Entwicklung. Im erweiterten Kontext steht dies in Verbindung zur Entwicklung eines nationalen Programms für nachhaltiges Ressourcenmanagement wie es zum Beispiel durch die Thematische Strategie der EU zur nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen gefordert wird. Im Besonderen sollte das bestehende Instrumentarium zur Beobachtung des Fortschrittes hin zu Nachhaltigkeit im Sinne der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie verbessert werden, indem der Gültigkeitsbereich des bisher verwendeten Rohstoffindikators zu erweitern wäre.

Die Konzepte der Materialflussrechnung von EUROSTAT und OECD beinhalten eine schrittweise Erweiterung der Indikatoren für Ressourcennutzung und Ressourcenproduktivität. Direkter Material Input (*englisch: Direct Material Input - DMI*) und Inländischer Materialverbrauch (*englisch: Domestic Material Consumption - DMC*) bilden die Basis, sie erfassen jedoch nicht die indirekten Materialflüsse von Importen und Exporten, und auch nicht die ungenutzte Extraktion im Inland. So werden die ausländische Dimension und der volle Umfang der Primärmaterialentnahme nicht abgebildet. DMI und DMC können in Rohstoffäquivalenten (*englisch: Raw Material Equivalents - RME*) berechnet werden, welche die indirekten Materialflüsse in Form genutzter Rohstoffentnahme einschließt und damit die nicht genutzte Extraktion außen vor lässt. Die umfassendsten Indikatoren für den gesamten globalen Primärmaterialbedarf für Produktion und Verbrauch, welche sowohl die genutzte als auch die nicht genutzte Extraktion umfassen, sind der Globale (Gesamt-)Material Aufwand (*englisch: Total Material Requirement - TMR*) und der Globale (Gesamt-)Material Verbrauch (*englisch: Total Material Consumption - TMC*).

Darüber hinaus beabsichtigt die Europäische Kommission Indikatoren zu entwickeln, welche die mit Ressourcennutzung verbundenen Umweltwirkungen abbilden, um so Fortschritte zur doppelten Entkopplung (*englisch: double-decoupling*) zu erfassen, die zentrales Thema der Thematischen Strategie zur nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen ist.

Der Workshop brachte Experten und Repräsentanten von Datennutzern, Datenanbieter aus der Forschung und Statistische Ämter zusammen. Verschiedene Ansätze und Positionen wurden hervorgehoben und hinsichtlich grundlegender methodischer Fragestellungen und Interpretierbarkeit der abgeleiteten Indikatoren diskutiert. Eine „mind-map“ Übung arbeitete grundlegende Anforderungen an einen idealen Indikator für Ressourcennutzung aus der Sicht von Anwendern, Anbietern oder Statistikern heraus. Eine interaktive Einheit über Anforderungen für das offizielle Berichtssystem in Deutschland und seinen Verbesserungsbedarf richtete das Hauptaugenmerk weiter-

führend auf das Interesse der Bundesregierung, wie mit der Erfassung von Ressourcennutzung und Ressourcenproduktivität weiter umgegangen werden sollte.

Unter den Nutzern von Daten und Indikatoren war die allgemeine Tendenz, RME im ersten Schritt zu entwickeln und im Folgenden TMR/TMC welche als umfassendste Indikatoren angesehen wurden. Auch Wirkungsbezogene Indikatoren erhielten die Aufmerksamkeit der Anwender. Es gab jedoch keine eindeutige Haltung, den gegenwärtigen Leitindikator kurzfristig zu ersetzen.

Datenanbieter aus der Forschung unterstützten ihren jeweiligen Schwerpunkt der Indikatorenentwicklung, mit einer generellen Tendenz – wie bei den Anwendern – zunächst den RME zu entwickeln und in der Folge TMR/TMC, indem einer modularen Vorgehensweise zu folgen wäre wonach die nicht genutzte Extraktion zum RME hinzugefügt wird, während man weiterer Forschung zu wirkungsbezogenen Indikatoren offen gegenüber stünde.

Statistiker favorisierten RME und zeigten Interesse sowohl für TMR/TMC als auch für die wirkungsbezogenen Indikatoren für Ressourcennutzung.

Darüber hinaus wurden einige kritische offene Fragestellungen zur konzeptionellen Fundierung der verschiedenen Indikatoren identifiziert, die weiterer Diskussion und Harmonisierung bedürfen.

## Executive Summary

The German government intended to assess the applicability of macro indicators measuring the use of resources by the German economy and requested suggestions for further use and development. In a broader context, this relates to the development of a national programme for sustainable resource management, which is, for instance, requested by the EU's Thematic Strategy for Sustainable Use of Natural Resources. More specifically, the existing monitoring of progress towards sustainability in pursuit of the national strategy for sustainable development should be improved, through widening the scope of the raw material productivity indicator used so far.

The material flow accounting concepts of ESTAT and OECD provide a stepwise extension of indicators for resource use and resource productivity. Direct Material Input (DMI) and Domestic Material Consumption (DMC) build the basis; however, they do not account for indirect flows of imports and exports, nor consider unused extraction, thus missing the foreign dimension and the full extent of primary resource extraction. DMI and DMC can be accounted as raw material equivalents (RME) that accounts for indirect flows of used extraction thus leaving out unused extraction. The most comprehensive indicators accounting for the total global primary material requirements for production and consumption, i.e. including both used and unused extraction, account for Total Material Requirement (TMR) and Total Material Consumption (TMC).

Furthermore, the European Commission aims at developing indicators to account for environmental impacts associated with resource use, so as to be able to monitor progress towards double-decoupling which is a central issue in the Thematic Strategy on the Sustainable Use of Natural Resources.

The workshop brought experts and representatives of data users, data providers from research, and statistical offices together. Different approaches and positions were highlighted and discussed regarding basic methodological issues and interpretability of derived indicators. A mind map exercise worked out basic requirements of an ideal resource use indicator as seen by users, providers or statisticians. An interactive session on requirements for German official reporting and need for improvement put the focus further on the interest of the German government how to proceed with monitoring resource use and resource productivity.

Among the users of data and indicators there was a general tendency to go for RME first and then for TMR/TMC which was regarded as most comprehensive indicator. Also impact related indicators received some attention of users. However, there was no clear attitude towards changing the current headline indicator in the short term.

Providers from research institutes confirmed their background for indicators work, with a general tendency – like users - to go for RME in the short term and for TMR/TMC in the longer run by following a modular approach and add up unused extraction to RME, while being open towards further research on resource use impact indicators.

Statisticians were in favour of the RME indicator and showed interest for TMR/TMC as well as for an impact related resource use indicator.

Apart from that, some critical open issues concerning the conceptual foundation of the different indicators were identified which require further discussion and harmonisation.

## Introduction

In view of increasing production for domestic consumption and export, and growing international trade interlinkages, the question arises whether the official German indicator for (abiotic) raw material consumption were still a useful measure for monitoring development by sustainable policy. Since 2001 this indicator is used as denominator for the headline indicator “resource productivity” of the German sustainability strategy, expressed by GDP/abiotic raw material consumption, meant to indicate decoupling of resource use from economic development. Reliable and unambiguously interpretable measures for raw material consumption are essential in view of the necessity to employ monitoring instruments for sustainable resource management programs operationalising the EU’s thematic strategy for the sustainable use of natural resources.

In the context of the MaRes project, an international workshop on „Material Use Indicators for Measuring Resource Productivity and Environmental Impacts“ with national and international participants from statistical offices, research institutes and official government institutions took place on 25-26 February 2010 in Berlin. The 2-days workshop facilitated intensive exchange of ideas about the meaningfulness and suitability of macro indicators for resource use derived from Material Flow Accounting (MFA), preparing the floor for evaluation by the participants which indicators would be most suitable for further development. Background information was provided with brief descriptions of the most prominent resource use indicators including their conceptual and methodological basis, applications in national and international context and statistical strengths and weaknesses. The MFA indicators that were discussed were Direct Material Input (DMI), Domestic Material Consumption (DMC), Total Material Requirement (TMR), Total Material Consumption (TMC), DMI and DMC in terms of RME , i.e. raw material equivalents, as well as the environmentally weighted material consumption indicators EMC (CML, Leiden University) and EVIL (IFEU Heidelberg).

The discussion was oriented towards the main questions: „Main criteria: Do the underlying concepts and theoretical foundations ensure direction safety with regard to progress towards sustainable resource use, with regard to generic or specific environmental impacts? Secondary criteria: Is practicability given with regard to data availability, effort for compilation and regular up-date, robustness of data, considering accuracy and uncertainties? Is international comparability given and/or can harmonisation be developed?“

The first day of the workshop was dedicated to presentations and discussions about the suitability of macro level raw material consumption indicators, the second day was focusing on the methodological approach to account for environmental impacts of resource use. A half-day mind-map exercise with the participants grouped after statisticians (S), data users (U) and data providers (P) aimed at summarizing the preferences and needs of these groups for evaluation and further development of the monitoring instruments.



## 1 Overview

The following section provides an overview of the presentations, interactive processes and discussions during the workshop which were centred at indicators for resource use and environmental impacts aiming at analysing their potentials and requirements for further development. The main criteria and questions were:

Main criterion:

- Do the underlying concepts and theoretical foundations ensure direction safety
  - with regard to progress towards sustainable resource use
  - with regard to generic or specific environmental impacts?

Secondary criteria:

- Is practicability given with regard to
  - data availability
  - effort for compilation and regular up-date
  - robustness of data, considering accuracy and uncertainties
- Is the methodological basis solidly described, and practical guidance available?
- Is international comparability given and/or can harmonisation be developed?

The candidate indicators will have to be assessed against these criteria.

### 1.1 Resource Use Indicator - Mind-mapping

The mind mapping exercise was moderated by Dr Bringezu/WI around the central question what “The ideal resource use indicator should...”. Participants of the workshop formulated their ideas. They then received 5 stickers each, the colours allowing to distinguish data users (U), data providers (P), and statistical offices (S)<sup>1</sup>. The represented institutions were assigned as follows:

U: Environment Agency (UBA); Ministry for Environment (BMU); European Environment Agency (EEA); Intecus GmbH

P: University Leiden (CML); European Topic Centre Sustainable Consumption and Production (ETC-SCP); Institute for Energy and Environment (IFEU); National Institute Japan for Environmental Studies (NIES); Sustainable Europe Institute (SERI); Wuppertal Institute (WI)



S: German Federal Statistical Office (Destatis); Statistical Office of the European Union (Eurostat)

Tab. 1 provides an overview of the results from the mind-mapping.

Results from the exercise show that the statistical offices set high standards for quality in concept, method and data while being easily communicable to target audience. Providers and users supported the need for high quality standards and ease to communicate. Their main concern however was on the issue of problem shifting in its characteristics across countries, across material, across impacts. Providers and users further expressed their preference to indicate total material needs which is a prerequisite for meaningful indication of problem shifting. This goes along with policy relevance for practise. Applicability at different scales (macro-meso-micro) was in particularly supported by users.

In more detail, the results from the mind map can be grouped as follows (in brackets: number of stickers for providers/users/statisticians):

- high priority was given by providers and users for the ideal indicator to be robust against problem shifting (6/9/-);
- providers and users (5/5/-) saw a requirement to indicate Total Material Need for domestic production and consumption;
- strong support from user side also for the indicator to be applicable at different scales (2/6/-);
- as well as for policy relevance for practice (3/6/-);
- support by all 3 groups found the issues: be measurable on regular basis/statistical quality standards (2/5/3), be simple to understand (2/2/3), and be analytically sound enough and transparent (3/5/3);
- less value was given to some issues with intermediate scores, like addressing secondary material use implications(-/4/-), capturing full life-cycle impacts (2/2/-), can be aggregated across countries (1/2/-), linked to aims and targets (1/1/1), linking environment and economy at detailed level (3/-/1), consider also land use, water, energy, ecosystem services (2/1/1), be timely and cost efficient (-/1/2).
- other issues on the board received less or no attention for priority setting. For instance, the issue of including both stocks and flows in use which is rather part of the SEEA concept but can hardly be operationalised towards a resource use indicator.

---

<sup>1</sup> Altogether, providers used 35 stickers on the board, users 50 stickers, and statisticians 15 stickers.

Tab. 1: Mind-mapping results – ranking by total points

The ideal resource use indicator should:	Points				Rank		
	U	P	S	TOTAL	U	P	S
be robust against problem shifting - across countries, across time, across material, across impacts	9	6		15	1	1	
be analytically sound enough; transparent; uncertainties should be calculable	5	3	3	11	4	3	1
show Total Material Need for domestic production and consumption	5	5		10	4	2	
be measurable on regular basis (also in developing and transition countries)/statistical quality standards	5	2	3	10	4	6	1
be policy relevant for practice	6	3		9	2	3	
be applicable at different scales (macro-meso-micro); sectors; product groups	6	2		8	2	6	
be understandable for laypersons and politicians / sufficiently simple	2	2	3	7	8	6	1
reflect secondary material use implications in broader context	4			4	7		
capture full life-cycle impacts incl. translocated and hidden problems	2	2		4	8	6	
be linking environment and economy at detailed level		3	1	4		3	5
consist of a bundle to consider also land use, water, energy, ecosystem services	1	2	1	4	11	6	5
be able to aggregate across countries	2	1		3	8	12	
be linked to aims and targets	1	1	1	3	11	12	5
be timely, cost efficient	1		2	3	11		4
be complemented by driver and response indicator and impact indicator		2		2		6	
represent use of nature as factor input to production and consumption			1	1			5
correlate with general environmental impact of production and consumption; scarcity	1			1	11		
be attributable to both producers and consumers		1		1		12	
reflect societal shift from materials to non-monetary value based				0			
Include flows and stocks in use				0			
address renewability				0			
be basis for further calculations				0			
be sensitive to improvement options				0			
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>	<b>35</b>	<b>15</b>	<b>100</b>			

Note: total points were used for overall ranking purpose only. Preferences of the three distinct groups may be taken from the three ranking columns for U, P, and S in the last three columns on the right side.

## 1.2 Assessment of indicators

A session on the second day of the workshop was to reflect on participants input and the discussion moderated by Mr. Bringezu/WI aimed at systematically assessing the indicator concepts with critical characteristics. Participants of the workshop received 10 Stickers each, colours again distinguishing data providers (P), data users (U) and statistical offices (S)<sup>2</sup>. Indicators addressed by this assessment have been described and analysed in detail in the background paper in advance of the workshop (Annex 1).

One side of Tab. 2 was dedicated to the evaluation of the indicators in terms of what German official reporting should go for.

In essence, users clearly indicated the demand to monitor TMR/TMC, while regarding RME as more feasible for the moment; this was corroborated by data providers suggesting RME rather than TMR/TMC as next step. Statisticians currently aim at RME. On the other hand, statisticians see also a need to further explore RME as well as TMR/TMC. The resource use impact indicators are rather a case for further exploration and development as supported more or less by all three groups. The shortcomings of DMI/DMC became obvious in that only providers proposed to aim at their use (e.g. as rather simple, proven and readily available indicators, compared to RME and TMR/TMC).

In more detail, the results are:

- providers were in favour of aiming at DMI/DMC as well as TMR/TMC, while users voted for TMR/TMC, and statisticians aimed at RME only;
- providers and users saw RME in first place to take as the next step - possibly interim to the more distant aim -, while statisticians put two score points to DMI/DMC and one to other resource use impact indicator;
- statisticians rather saw the need to explore TMR/TMC, but also RME and the other resource use impact indicator, while users and providers saw particular need to explore the three resource use impact indicators, and users further voted to explore RME and TMR/TMC.

---

<sup>2</sup> Altogether, providers used 77 stickers on the board, users 80 stickers, and statisticians 30 stickers.

Tab. 2: Requirements for German official reporting – experts judgements

German official reporting should:		aim to use				use as next step				explore			
		U	P	S	TOTAL	U	P	S	TOTAL	U	P	S	TOTAL
DMI/DMC	DMI		2		2			2	2				0
	DMI/DMC				0				0				0
	DMC		3		3				0				0
	TOTAL	0	5	0	5	0	0	2	2	0	0	0	0
RME	RME-DMI			3	3	3	4		7				0
	RME	1	1		2	2			2	2		2	4
	RME-DMC		1	3	4	2	3		5				0
	TOTAL	1	2	6	9	7	7	0	14	2	0	2	4
TMR/TMC	TMR	3	1		4		1		1				0
	TMR/TMC		2		2		1		1	3	1	3	7
	TMC	2	1		3		1		1				0
	TOTAL	5	4	0	9	0	3	0	3	3	1	3	7
EMC			1		1				0	5	3		8
EVIL					0				0	1	4		5
Other resource use impact indicator					0			1	1	3	2	2	7
<b>TOTAL</b>		<b>6</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>24</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>20</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>31</b>

Another side of Tab. 3 was dedicated to the need for indicators improvement.

To sum up, need for both method and data improvements were seen by all participants especially for RME and TMR/TMC. While improvement requirements for the resource use impact indicators was focused by providers and users on the method aspects.

In more detail, the results are:

- for the national (German) level, need for method specification was seen by providers in particular for RME, EMC, and EVIL, while users put strong emphasis on RME, and statisticians gave one score point each to TMR/TMC, EVIL and another impact indicator;
- national data development needs were clearly focused on RME and TMR/TMC by all three groups;
- providers obviously put more emphasis on international/EU harmonisation of methods than at national level and in particular for RME and TMR/TMC as well as for EMC. Users again put strong emphasis at RME method harmonisation at interna-

tional level and less emphasis for EMC and TMR/TMC. Statisticians were less interested in international method harmonisation and gave only two score points to RME and one to the other impact indicator;

- providers saw high need for data improvement at international level in particular for RME and to lesser extent for TMR/TMC and EMC. Also users found high data needs for these three indicators though with rather equal votes for RME and TMR/TMC. Statisticians saw international data improvement as well for RME and TMR/TMC.

Tab. 3: Need for improvement – experts judgements

Indicators need improvement:		Nationally / Germany								EU / Internationally							
		Method specification				Data				Method harmonisation				Data			
		U	P	S	TO-TAL	U	P	S	TO-TAL	U	P	S	TO-TAL	U	P	S	TO-TAL
DMI/DMC	DMI				0				0				0				0
	DMI/DMC				0				0				0				0
	DMC				0				0				0				0
	TOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RME	RME-DMI	1			1	1			1	2	1		3	1	1		2
	RME	5	2		7	4	2	2	8	5	4	2	11	4	5	2	11
	RME-DMC	1			1	1	1		2	2	2		4	1	2		3
	TOTAL	7	2	0	9	6	3	2	11	9	7	2	18	6	8	2	16
TMR/TMC	TMR	1			1	1			1		1		1		1		1
	TMR/TMC	1	1	1	3	2	1	2	5	2	2		4	6	2	2	10
	TMC				0				0		1		1				0
	TOTAL	2	1	1	4	3	1	2	6	2	4	0	6	6	3	2	11
EMC			3		3		1		1	3	4		7	3	3		6
EVIL			2	1	3				0		2		2				0
Other resource use impact indicator		2		1	3	2			2		1	1	2	2			2
TOTAL		11	8	3	22	11	5	4	20	14	18	3	35	17	14	4	35

### **1.3 Essentials of the presentations**

The presentations given during the workshop are found in annex 4. They are listed and shortly described in the following.

#### **1.3.1 Introduction to the topic – overview and target questions of the workshop (S. Bringezu, WI, Germany)**

The presentation of Dr. Bringezu introduced to the issue of resource use and resource productivity with a view on the raw material productivity indicator of the German sustainability strategy. The presentation was structured as follows:

- Why measure resource productivity?
- Some global trends
- Environmental policy and the German Sustainable Development Strategy (SDS)
- Improving the raw material productivity indicator
- Issues for discussion

The following issues prepared the ground for discussions and interactive exercises for indicators assessment during the workshop:

- Direction safety
  - (a) progress towards sustainable resource use
  - (b) regarding generic or specific environmental impacts
- Practicability
  - (a) data availability
  - (b) effort for compilation and regular up-date
  - (c) robustness: accuracy and uncertainties
- Solid method description, available guidance
- International comparability and harmonization

#### **1.3.2 The OECD framework of accounting for material flows and resource productivity and recent experiences in Japan (Y. Moriguchi, NIES, Japan)**

The contents of the speech of Dr. Moriguchi were:

- Background: Massive material flows of industrialized economies
- Progress in Material Flow Analysis/Accounting/Indicators
  - Interaction between international activities and nation-specific progress

- Interaction between methodological experts and policy users
- Progress in expert communities, e.g. ConAccount, ISIE
- OECD's activities on material flows and resource productivity
  - Council Recommendations (1st CR on MF/RP 2004, 2nd CR on RP 2008)
  - OECD's set of guidance documents
  - Co-operations with other int'l organizations (EEA, EUROSTAT, UNEP)
- Recent experiences in Japan
  - Introduction of macro MF indicators and numerical targets in Japanese
  - 1st Fundamental Plan for establishing a Sound Material-Cycle Society
  - New MF indicators with/without numerical targets in revised 2nd FPSMCS
  - Use of MF approach in industries (e.g. in environmental reporting)
- Conclusion

With regard to the workshop focus, Dr. Moriguchi posed key methodological questions to meet policy needs:

- Attribution of MFs to national production or consumption to ensure international comparability of MF indicators
- Disaggregation by sectors and by materials to meet the needs from other users than national policy makers
- Quantification of hidden flows (system boundary, data availability)
- Linking MF information with specific environmental problems (impact, damage-based quantification)
- Better understanding of upstream (e.g. mining) and downstream (e.g. waste management) flows and their environmental impacts
- Compilation of internationally comparable/common database

### **1.3.3 Measuring material use and resource productivity in Europe (S. Moll, Eurostat)**

Mr Moll was giving an overview of major developments at Eurostat with regard to material flows and resource productivity indicators, in particular methodological harmonisation and data generation via the bi-annual Eurostat ew-MFA Questionnaire launched in 2007 and 2009 so far. He further pointed out envisaged future developments at Eurostat which will focus on developing the raw material equivalents and investigate further into the area of environmental impacts of resource use.



#### **1.3.4 Measuring DMI, DMC, TMR and TMC of Germany (H. Schütz, WI, Germany)**

Dr. Schütz (with co-author Mathieu Saurat/WI) provided insight into the work at WI on material flow indicators for Germany which had been part of a project for UBA (Schütz and Bringezu 2008) with new results added for sensitivity analysis of the accounts for indirect flows. The presentation was structured as follows:

- Definition, Objectives, Foundations
- Practical application
- Some old and some new results
- Policy relevance
- Development requirements and perspectives

The speaker pointed out ongoing development at Eurostat, OECD and UN to harmonise material flow accounts with the SEEA/SNA. For the issue of indirect material flows of imports and exports, most promising initiatives will likely combine the coefficients approach with input-output analysis from a multi-regional IO-MFA model (Giljum et al. 2008).

#### **1.3.5 DMI and DMC of Germany calculated as Raw Material Equivalents (S. Buyny, Destatis, Germany)**

The presentation of Ms Buyny was structured as follows:

- What? Why? and How?
- Results
- Evaluation and improvement potential

Ms Buyny gave insight into the development of the RME indicator at Statistics Germany in cooperation with IFEU and presented first results for Germany in comparison with the former raw material productivity indicator of the sustainability strategy.

#### **1.3.6 Accounting for impacts of resource use – outline of a challenge and recent approaches (S. Bringezu, WI, Germany)**

The presentation of Dr. Bringezu introduced to the issue of accounting for impacts of resource use with a view on major challenges and insights from recent and ongoing work. The presentation was structured as follows:

- The goal of double de-coupling
- Basic challenges of impact assessment

- System definition
- Characterisation and quantification of impacts
- Normalization and weighting of single impacts
- Weighting between different impacts
- Conclusions:
  - Single impacts of overall resource use (production & consumption) such as GWP can be accounted with reliable certainty
  - Accounting for various other specific impacts still difficult:
    1. characterization of important LCA impact categories still lacking or based on disputable assumptions
    2. aggregation to single indexes requires additional normative assumptions
  - Macro approaches in combination with reliable LCA elements seem promising to derive key indicators such as global land use (e.g. GLUA) and related change

### **1.3.7 The Environmentally weighted Material Consumption – EMC (E. Van der Voet, CML, Netherlands)**

Dr. van der Voet gave an overview of the development of the EMC indicator under the aim to account for environmental impacts of resource use with regard to the EC Thematic Strategy on the sustainable use of natural resources (van der Voet et al. 2005, 2009). Dr. van der Voet pointed out the use of the EMC indicator:

- Developed to measure, combined with GDP and DMC, double decoupling
- Based in active research fields: MFA and LCA
- Can be used at aggregate level as decoupling indicator
- Also can be used at disaggregate level
  - broken down into materials
  - broken down into impact categories
- Further development
  - material balances: agreement on data and procedures (Eurostat)
  - impact factors: agreement on which ones to use (JRC)
  - aggregation: agreement on weighting scheme (JRC)

### **1.3.8 Correlations of mass flow based indicators with environmental impacts (J. Giegrich, IFEU, Germany)**

The presentation has not been provided for inclusion until 25 October 2010.

## **1.4 Final statements of participants**

A final round was held with statements of all participants on their conclusion from the workshop as regards the most appropriate set of measures for resource use and productivity and recommendations for further development in particular for the German strategy on sustainable development and its raw material productivity.

Some of the major outcomes are:

- Statisticians were in favour of the RME indicator and show interest for an impact related resource use indicator as well as TMR/TMC, where they see clarification needs for the inclusion of unused material extraction;
- Among the users of data and indicators there was an overall tendency to go for RME at first and for TMR/TMC in the long run which was regarded as most comprehensive indicator. Also impact related indicators received some attention of users. However, there was no clear attitude towards changing the current headline indicator in the short term. Some individual statements by users were opening other aspects of the issue, in particular to have a look also at the GDP part of the resource productivity indicator, to have indicators also for the sector level, to reflect absolute resource use as well and not only productivity, and to consider resource intensity of trade;
- Providers in principle confirmed their background for indicators work, with a general tendency – like users - to go for RME in the short term and for TMR/TMC in the longer run by following a modular approach and add up unused extraction to RME, while being open towards further research on resource use impact indicators.

## **1.5 Open issues**

During the workshop some issues critical for the conceptual foundation and interpretation of the resource indicators were discussed, in particular the issue of how to treat secondary material (scrap or waste) which arose from the presentation of Ms Buyny on the RME indicator.

*Accounting for secondary material, scrap, waste etc.*

Secondary material is part of material flows both for domestic production and through imported and exported goods where it may be a commodity on its own (e.g. waste and

scrap of alloy steel) or embodied in material where the amount of secondary share is usually unknown (e.g. flat-rolled products of steel).

Material use indicators like DMI and DMC do include imported and exported secondary materials (Eurostat ew-MFA questionnaire 2009 tables), but exclude secondary materials from domestic production (the domestic account in ew-MFA considers raw materials only). When accounting for the indirect material flows of imported and exported secondary materials, only the primary materials required to provide these are counted. This is in line with the MIPS concept.

The indicator Raw Material Equivalents (RME) as it is derived by Destatis does include secondary material for imports but not for domestic production (with the argument to avoid double counting, because the RME for domestic production had already been counted in a previous period).

In contrast to the account for indirect material flows (as for TMR and TMC), the currently practised RME accounts treats imported secondary material as if it were produced from primary material. As a consequence, that indicator sums up real and virtual (de facto avoided) flows.

The basic issues to be clarified for a future material use indicator of the economy thus are:

- in which way should secondary material be considered in domestic accounts? And
- should imported (and exported) secondary material be accounted for? And - if yes -
- should indirect material requirements be accounted – and possibly in which way?

Answering these questions will probably depend on the overall target question(s) to be answered by the indicators. As indicators are limited in scope, also separate accounts on recycling flows could be an option.

The definite clarification of these issues is crucial for the interpretation and international harmonisation of material use indicators. There was no final consensus reached during the workshop. So the issue remains open for further discussion and requires clarification.

## **2 Outlook and next steps**

When deciding on the extension of the raw material productivity indicator, the German government might reflect on the questions to be primarily answered by the indicators. The results of the workshop which worked out the main features of the different resource use indicators may then help to select the appropriate candidates.

In any case, there is a need for developing an international data base for resource use coefficients of internationally traded products in order to support national statistical offices to account for indirect resource flows (Giljum et al. 2008). A pilot data base should be developed in cooperation with an appropriate host institution. This requires further support.

With reference to the needs for improvement of the indicators it is proposed to involve national or international task forces for clarification of methodological questions like how to treat secondary materials. The Eurostat task force on ew-MFA would be a candidate in this respect.



## References and further reading

- Bringezu, Stefan (2009): Visions of a sustainable resource use; in: Bringezu, Stefan (Hg.) (2009): Sustainable resource management: global trends, visions and policies; Sheffield: Greenleaf Publishing, pp. 155-215
- Bringezu, Stefan / Schütz, Helmut / Saurat, Mathieu / Moll, Stephan / Acosta Fernandez, José (2009): Europe's resource use: basic trends, global and sectoral patterns and environmental and socioeconomic impacts; in: Bringezu, Stefan (Hg.) (2009): Sustainable resource management : global trends, visions and policies; Sheffield: Greenleaf Publishing, pp. 52-154
- Bringezu, Stefan / Sand, Isabel van de / Schütz, Helmut / Bleischwitz, Raimund / Moll, Stephan (2009): Analysing global resource use of national and regional economies across various levels; in: Bringezu, Stefan (Hg.) (2009): Sustainable resource management : global trends, visions and policies; Sheffield: Greenleaf Publishing, pp. 10-51
- Bringezu, Stefan (Hg.) (2009): Sustainable resource management: global trends, visions and policies; Sheffield: Greenleaf Publishing
- Bringezu, Stefan / Schütz, Helmut (2010): Der „ökologische Rucksack“ im globalen Handel: ein Konzept verbindet Ökonomie, Umwelt und Geographie; Geographische Rundschau, Vol. 42 (2010), Nr. 4, pp. 12-17
- Bringezu, Stefan / Schütz, Helmut / Moll, Stephan (2003): Rationale for and interpretation of economy-wide materials flow analysis and derived indicators; Journal of industrial ecology, Vol. 7 (2003), Nr. 2, pp. 43-64
- Bringezu, Stefan / Schütz, Helmut / Steger, Sören / Baudisch, Jan (2004): International comparison of resource use and its relation to economic growth: the development of total material requirement, direct material inputs and hidden flows and the structure of TMR; Ecological economics, Vol. 51 (2004), Nr. 1/2, pp. 97-124
- Buyny, Šárka / Klink, Steffen / Lauber, Ursula (2009): Verbesserung von Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung – Weiterentwicklung des direkten Materialinputindikators; Endbericht; Wiesbaden: Statistisches Bundesamt
- EC – European Commission (2003): Towards a Thematic Strategy on the Sustainable Use of Natural Resources; COM (2003) 572 final  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2003:0572:FIN:EN:PDF>  
(26.10.2010)
- EEA (1999): Environmental Indicators: Typology and Overview; Technical Report 25; Copenhagen  
<http://www.eea.europa.eu/publications/TEC25> (26.10.2010)
- EEA (2007): Europe's Environment; The Fourth Assessment; Copenhagen  
[http://www.eea.europa.eu/publications/state\\_of\\_environment\\_report\\_2007\\_1](http://www.eea.europa.eu/publications/state_of_environment_report_2007_1)  
(26.10.2010)
- Eurostat (2001): Economy-wide material flow accounts and derived indicators; Luxembourg  
[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/environmental\\_accounts/documents/3.pdf](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/environmental_accounts/documents/3.pdf) (26.10.2010)



- Eurostat (2009): Economy-wide Material Flow Accounts: Compilation Guidelines for reporting to the 2009 Eurostat questionnaire; Luxembourg  
[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/environmental\\_accounts/doments/Eurostat%20MFA%20compilation%20guide%20for%202009%20reporting.pdf](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/environmental_accounts/doments/Eurostat%20MFA%20compilation%20guide%20for%202009%20reporting.pdf) (26.10.2010)
- Giljum, Stefan / Hinterberger, Fritz / Biermann, Brigitte / Bleischwitz, Raimund / Bringezu, Stefan / Liedtke, Christa / Ritthoff, Michael / Schütz, Helmut (2008): Errichtung einer internationalen Datenbank zur Ressourcenintensität von Rohstoffen, Halbwerten und Produkten (International data base on resource intensity); Final report
- Moll, Stephan / Bringezu, Stefan / Schütz, Helmut (2005): Resource use in European countries : an estimate of materials and waste streams in the Community, including imports and exports using the instrument of material flow analysis; Wuppertal: Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, Wuppertal report 1
- OECD (2008): Measuring material flows and resource productivity; Volume I. The OECD Guide; Volume III. Inventory of Country Activities. Paris  
[http://www.oecd.org/document/51/0,3343,en\\_2649\\_34283\\_34808435\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/51/0,3343,en_2649_34283_34808435_1_1_1_1,00.html) (26.10.2010)  
<http://www.oecd.org/dataoecd/47/28/40486068.pdf> (26.10.2010)
- Schepelmann, Philipp / Schütz, Helmut / Bringezu, Stefan (2006): Assessment of the EU thematic strategy on the sustainable use of natural resources; Brussels: Europ. Parliament
- Schütz, Helmut / Bringezu, Stefan (2008): Ressourcenverbrauch von Deutschland: aktuelle Kennzahlen und Begriffsbestimmungen Erstellung eines Glossars zum „Ressourcenbegriff“ und Berechnung von fehlenden Kennzahlen des Ressourcenverbrauchs für die weitere politische Analyse; Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, Texte / Umweltbundesamt 02/2008  
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3426.pdf> (26.10.2010)
- Schütz, Helmut / Bringezu, Stefan (2008): Final Report: Resource consumption of Germany – indicators and definitions - Translated version of the original German report “Ressourcenverbrauch von Deutschland - aktuelle Kennzahlen und Begriffsbestimmungen”; Dessau-Roßlau (Germany): Federal Environment Agency (Umweltbundesamt), Research Report 363 01 134, UBA-FB 001103, UBA-Texte 08/2008
- Van der Voet, Ester / van Oers, Laurant / de Bruyn, Sander / de Jong, Femke / Tukker, Arnold (2009): Environmental Impact of the use of Natural Resources and Products; CML report 184. Department Industrial Ecology. 186p.
- Van der Voet, Ester / van Oers, Laurant / Moll, Stephan / Schütz, Helmut / Bringezu, Stefan / de Bruyn, Sander / Sevenster, Maartje / Warringa, Geert (2005): Policy Review on Decoupling: Development of indicators to assess decoupling of economic development and environmental pressure in the EU-25 and AC-3 countries; CML report 166, Leiden: Institute of Environmental Sciences (CML), Leiden University - Department Industrial Ecology  
[http://ec.europa.eu/environment/natres/pdf/fin\\_rep\\_natres.pdf](http://ec.europa.eu/environment/natres/pdf/fin_rep_natres.pdf) (26.10.2010)

## Nomenclature

Abbreviation	Explanation
BMU	Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (Germany)
CML	Institute of Environmental Sciences, Leiden University, The Netherlands
ConAccount	concerted action titled "Coordination of Regional and National Material Flow Accounting for Environmental Sustainability"
CR	Council Recommendation (OECD)
Destatis	Federal Statistical Office (Germany)
DMC	Domestic Material Consumption
DMI	Direct Material Input
EC	European Commission
EEA	European Environment Agency
ETC-SCP	European Topic Centre – Sustainable Consumption and Production
EMC	Environmentally weighted Material Consumption
ESTAT	Eurostat – Statistical Office of the European Union
EU	European Union
EVIL	Environmental Impact Load
ew-MFA	economy-wide Material Flow Accounting
FPSMCS	Fundamental Plan for establishing a Sound Material-Cycle Society (Japan)
GDP	Gross Domestic Product
GLUA	Global Land Use Agriculture
GWP	Global Warming Potential
IFEU	Institute for Energy and Environmental Research, Heidelberg/Germany
IO	Input-Output
ISIE	International Society for Industrial Ecology
JRC	Joint Research Centre

LCA	Life Cycle Analysis
MF	Material Flows
MFA	Material Flow Analysis
MIPS	Material Input Per Service unit
NIES	National Institute for Environmental Studies (Japan)
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
RME	Raw Material Equivalent
RP	Resource Productivity
SDS	Sustainable Development Strategy
SEEA	System of Integrated Environmental and Economic Accounting
SERI	Sustainable Europe Research Institute. Vienna/Austria
SNA	System of National Accounts
TMC	Total Material Consumption
TMR	Total Material Requirement
UBA	Federal Environment Agency (Germany)
UN	United Nations
UNEP	United Nations Environment Programme
WI	Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, Wuppertal/Germany

## **Annexes**

Annex 1: Agenda of the workshop

Annex 2: Official invitation

Annex 3: Participants list

Annex 4: Presentations



**Annex 1:**

**Agenda of the workshop**





# **Material Use Indicators for Measuring Resource Productivity and Environmental Impacts**

Workshop organized by Wuppertal Institute and Federal Environment Agency (UBA)

Berlin, 25.-26.2.2010

Venue: Presse- und Besucherzentrum der Bundesregierung, Reichstagsufer 14, 10117 Berlin, Room 4

## **Agenda** - as of 22 Feb 2010

### **25 February**

12:30 - 13:00 Registration

13:00 - 13:10 Welcome by Harry Lehmann, UBA

13:10 - 13:30 Introduction to topic - overview and target questions of the workshop  
Stefan Bringezu, Wuppertal Institute

13:30 - 14:00 The OECD framework of accounting for material flows and resource productivity and recent experiences in Japan  
Yuichi Moriguchi, NIES, Japan

14:00 - 14:30 Measuring material use and resource productivity in Europe  
Stephan Moll, Eurostat

Coffee break: 14:30 - 15:00

15:00 - 15:30 Measuring DMI, DMC, TMR and TMC of Germany  
Helmut Schütz, Wuppertal Institute

15:30 - 16:00 DMI and DMC of Germany calculated as Raw Material Equivalents  
Sarka Buyny, DESTATIS

16:00 - 16:30 Questions for clarification and discussion

Coffe Break 16:30 - 17:00

17:00 - 18:00 Mind map exercise and discussion: Important characteristics of a national resource use indicator  
Moderation: Stefan Bringezu

19:30 Dinner

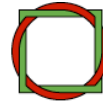
## 26 February

- 9:00-9:30     Accounting for impacts of resource use - outline of a challenge and recent approaches  
                  Stefan Bringezu
- 9:30-10:00    The Environmentally weighted Material Consumption - EMC  
                  Ester van der Voet, CML, Netherlands
- 10:00-10:30   Correlations of mass flow based indicators with environmental impacts  
                  Jürgen Giegrich, Ifeu, Germany
- 10:30-11:00   Discussion
- 11:00-11:30   Coffee break
- 11:30-12:30   Assessing the indicator concepts with critical characteristics -  
                  a joint undertaking  
                  Moderation: Stefan Bringezu
- 12:30-13:00   Wrap up and final round
- Close: 13:00

# **Annex 2:**

# **Official invitation**





**Wuppertal Institut**  
für Klima, Umwelt, Energie  
GmbH

Wuppertal Institut • Postfach 100480 • 42004 Wuppertal

Wuppertal Institute for  
Climate, Environment  
and Energy

**Vizepräsident und  
kommissarischer  
wissenschaftlicher Leiter**  
Prof. Dr. Manfred Fischedick

**Kaufmännische  
Geschäftsführerin**  
Brigitte Mutert

Döppersberg 19  
42103 Wuppertal  
Germany

Fon (+49) 202 / 24 92-0  
Fax (+49) 202 / 24 92-108  
Mail [info@wupperinst.org](mailto:info@wupperinst.org)  
Web [www.wupperinst.org](http://www.wupperinst.org)

**Büro Berlin**  
Hackesche Höfe  
Rosenthaler Str. 40/41  
10178 Berlin  
Germany  
Fon (+49) 30 / 2809-5494  
Fax (+49) 30 / 2809-4895  
Mail [berlin@wupperinst.org](mailto:berlin@wupperinst.org)  
Web [www.wupperinst.org](http://www.wupperinst.org)

**Persönlicher Kontakt**  
Fon - 131  
Fax 138  
Mail [stefab.bringezu@wupperinst.org](mailto:stefab.bringezu@wupperinst.org)

Datum 11. Feb. 2010

- Invitees list -

## **Invitation Workshop Material Use Indicators for Measuring Resource Productivity and Environmental Impacts, Berlin, 25-26 Feb 2010**

Dear colleagues

On behalf of the German Federal Environment Agency (UBA) we invite you to participate in the announced workshop.

The German government intends to assess the applicability of macro indicators measuring the use of resources by the German economy and requests suggestions for further use and development. In a broader context, this relates to the development of a national programme for sustainable resource management, which is, for instance, requested by the EU's Thematic Strategy for Sustainable Use of Natural Resources. More specifically, the existing monitoring of progress towards sustainability in pursuit of the national strategy for sustainable development shall be improved, through widening the scope of the raw material productivity indicator used so far.

The agenda is attached, including the venue.

The draft list of participants is also enclosed. Those of you who did not already confirm participation are kindly asked to do so (mail to [mary.walker@wupperinst.org](mailto:mary.walker@wupperinst.org)).

If you still need a hotel you may get a special price at the Park Inn Berlin-Alexanderplatz ([reservations.berlin@rezidorparkinn.com](mailto:reservations.berlin@rezidorparkinn.com)), when you refer to code "Bundrate".

We will provide you with a background document one week before the workshop.

The presenters are kindly requested to mail (1) an abstract (no more than 150 words), and (2) the ppt until the 18th Feb.

Best regards

A handwritten signature in blue ink, reading "Stefan Bringezu".

Dr. Stefan Bringezu  
Director  
Research Group  
Material Flows and Resource Management

Enclosed:

- Agenda, incl. venue
- Draft participants list

# **Annex 3:**

## **Participants list**





List of participants

**Workshop on Material Use Indicators for Measuring Resource Productivity and Environmental Impacts**

25. – 26. Februar 2010

Presse- und Besucherzentrum der Bundesregierung, Reichstagufer 14, 10117 Berlin, Room 4

<b>TN</b>	<b>Name</b>	<b>Institut</b>	<b>Adresse</b>	<b>Email</b>	<b>Tel.</b>
1	Stefan Bringezu	Wuppertal Institut	Döppersberg 19 42103 Wuppertal	stefan.bringezu@wupperinst.org	0202 2492 131
2	Helmut Schütz	Wuppertal Institut	Döppersberg 19 42103 Wuppertal	helmut.schuetz@wupperinst.org	0202 2492 240
3	Karl Biedermann	Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit	Robert-Schuman-Platz 3 53175 Bonn	karl.biedermann@bmu.bund.de	0228 99 305- 2580
4	Peter Stutz	Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit	Alexanderstraße 3 10178 Berlin-Mitte	peter.stutz@bmu.bund.de	030 18 305-2431
5	Udo Paschedag	Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und	Alexanderstraße 3 10178 Berlin-Mitte	udo.paschedag@bmu.bund.de	030 18 305-2270

		Reaktorsicherheit			
6	Frank Hönerbach	Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit	Alexanderstraße 3 10178 Berlin-Mitte	frank.hoenerbach@bmu.bund.de	030 18 305-2237
7	Jürgen Giegrich	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH	Wilckensstraße 3 69120 Heidelberg	juergen.giegrich@ifeu.de	06221/4767-21;
8	Guido Sonnemann	UNEP Division of Technology, Industry and Economics (DTIE)	15 rue de Milan 75441 Paris Cedex 09	guido.sonnemann@unep.org	0033 1 44 37 7622
9	Stephan Moll	Eurostat	Batiment Jean Monnet Rue Alcide De Gasperi 2920 Luxembourg	stephan.moll@ec.europa.eu	00352 4301 30198
10	Sarka Buyny	Destatis Statistisches Bundesamt	Gustav-Stresemann-Ring 11 65189 Wiesbaden	sarka.buyny@destatis.de	0611 75 4515

11	Ursula Lauber	Destatis Statistisches Bundesamt	Gustav-Stresemann-Ring 11 65189 Wiesbaden	ursula.lauber@destatis.de	0611 75 2737
12	Pawel Kazmierczyk	EEA	Kongens Nytorv 6 1050 Copenhagen Denmark	pawel.kazmierczyk@eea.europa.eu	0045 3336 7122
13	Stefan Giljum	SERI – Nachhaltigkeitsfor- schungs und – Kommunikations GmbH	Garnisongasse 7/21 A - 1090 Vienna/Austria	stefan.giljum@seri.at	0043(1) 969 0728-19
14	Karl Schoer	Sustainable Solutions Germany-Consultants GmbH	Kleiststr. 7a 65187 Wiesbaden	Karl@schoer.net	0611 809281
15	Ester van der Voet	Universität Leiden	Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden, Industriele Ecologie	voet@cml.leidenuniv.nl	0031 (0)71 527 7480
16	Yuichi Moriguchi	National Institute for Environmental Studies	16-2 Onogawa Tsukuba 305-0053 Japan	moriguti@nies.go.jp	0081298 502540
17	Kristine Koch	Umweltbundesamt	Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau	kristine.koch@uba.de	0340 2103-3020
18	Harry Lehmann	Umweltbundesamt	Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau	harry.lehmann@uba.de	0340 2103-2649

19	Jacqueline Burkhardt	Umweltbundesamt	Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau	jacqueline.burkhardt@uba.de	0340 2103-2161
20	Andreas Burger	Umweltbundesamt	Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau	andreas.burger@uba.de	0340 2103-2144
21	Sarah Kahnert	Umweltbundesamt	Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau	sarah.kahnert@uba.de	0340 2103-2710
22	Michael Angrick	Umweltbundesamt	Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau	michael.angrick@uba.de	0340 2103-3454
23	Hermann Keßler	Umweltbundesamt	Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau	hermann.kessler@uba.de	0340 2103-3563
24	Jan Kosmol	Umweltbundesamt	Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau	jan.kosmol@uba.de	0340 2103-2096
25	Felix Müller	Umweltbundesamt	Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau	felix.mueller@uba.de	0340 2103-3854
26	Michael Golde	Umweltbundesamt	Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau	michael.golde@uba.de	0340 2103-2731
27	Jens Günther	Umweltbundesamt	Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau	jens.guenther@uba.de	0340 2103-2413
28	Judit Kanthak	Umweltbundesamt	Wörlitzer Platz 1	judit.kanthak@uba.de	0340 2103-2072

			06844 Dessau-Roßlau			
29	Gertrude Penn-Bressel	Umweltbundesamt	Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau	gertrude.penn-bressel@uba.de	0340 2103-2377	
30	Stefan Schmitz	Umweltbundesamt	Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau	stefan.schmitz@uba.de	0340-2103 3041	
31	Jörg Wagner	Intecus GmbH	Pohlandstr. 17 01309 Dresden	wagner@intecus.de	0351 31823-0	
32	Jacob Beutler (Einlass)	Wuppertal Insitut	Berlin			
33	Malte Hentschke (Einlass)	Wuppertal Insitut	Berlin			





# **Annex 4:**

# **Presentations**





**Wuppertal Institute**  
for Climate, Environment  
and Energy

# **Material Use Indicators for Measuring Resource Productivity and Environmental Impacts**

## **Introduction to the Workshop**

**Dr. Stefan Bringezu**

Member of the International  
Panel for Sustainable Resource  
Management

Director  
Material Flows and Resource  
Management  
Wuppertal Institute

Presentation  
25 Feb 2010  
Berlin

## **The presentation**

- **Why measure resource productivity?**
- **Some global trends**
- **Environmental policy and the German SDS**
- **Improving the raw material productivity indicator**
- **Issues for discussion**

## The presentation

- **Why measure resource productivity?**
- Some global trends
- Environmental policy and the German SDS
- Improving the raw material productivity indicator
- Issues for discussion

February 2010

Stefan Bringezu

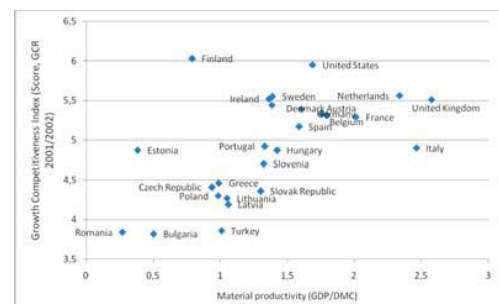
3

Wuppertal Institute

## Why measure and increase resource productivity?

- not only a matter of environmental concern -

- **Decoupling environmental pressure from economic growth**
- **Supply security and reduction of import dependence**
- **Driver of innovation, potentials for cost reductions in industry, risk of unemployment grows with low RP**
- **International competitiveness grows with material productivity**
- **Fair international burden sharing – reduced risk of problem shifting**



February 2010

Stefan Bringezu

4

Wuppertal Institute

## The presentation

- Why measure resource productivity?
- Some global trends
- Environmental policy and the German SDS
- Improving the raw material productivity indicator
- Issues for discussion

February 2010

Stefan Bringezu

5

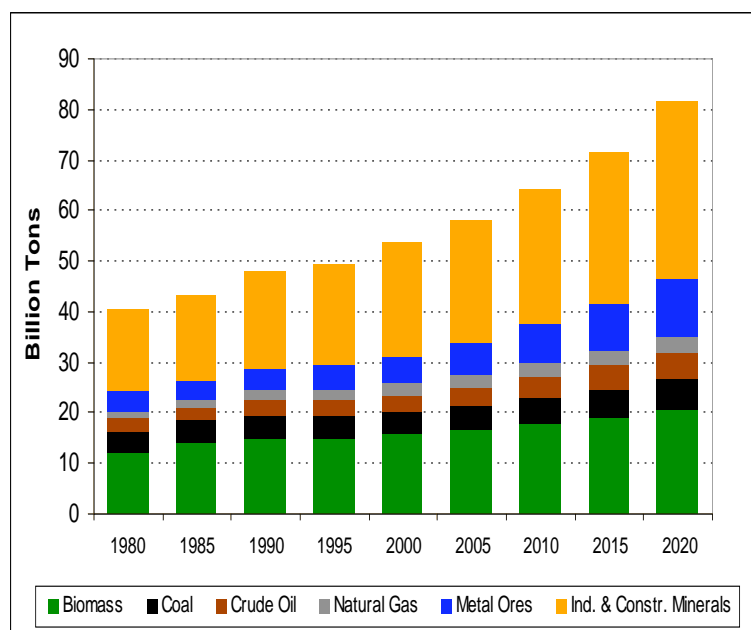
Wuppertal Institute

## Growing global resource use

- **Projected increase of used extraction from 2000 to 2020: 1,5 times**
- **Unused extraction adds at least the same amount\***

\*not shown

MOSUS Baseline scenario DEU



Source: SERI; Giljum et al. 2007

February 2010

Stefan Bringezu

6

Wuppertal Institute

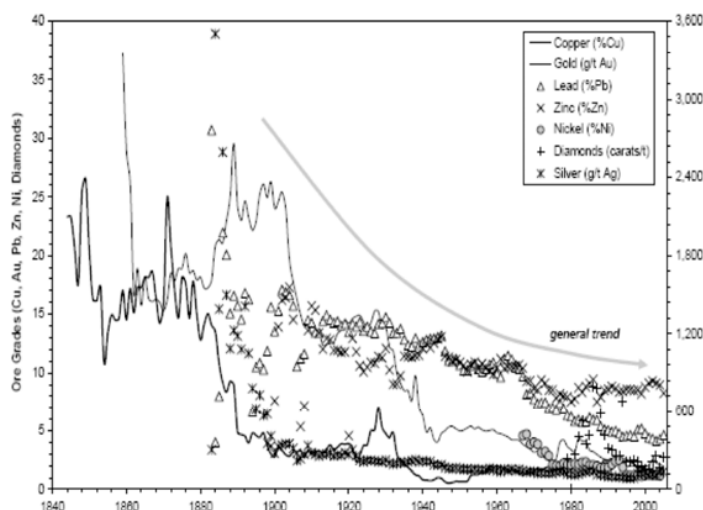
# Global resource extraction expected to increase

## Some estimates

- **Global resource extraction in 2000: 145 – 180 bill. tonnes**
    - fossil fuels, metals, other minerals, biomass (used + unused): 80 bill. t
    - earth excavation: 40 – 50 bill. t
    - erosion in agriculture: 25 – 50 bill. t
  - **Total Material Consumption (TMC) of the EU in 2000: 44 t/cap**  
global adoption in 2050 (9 bill people) -> 400 bill. t (factor 2-3)
  - **TMC of USA in 1991: 74 t/cap**  
global adoption in 2050 -> 666 bill. t (factor 4-5)
- > **Global adoption of current EU and/or US technologies and consumption patterns could lead to increase by factor 2 to 5**

Source: Bringezu et al. 2009

## "New Scarcity": growing implications of resource use



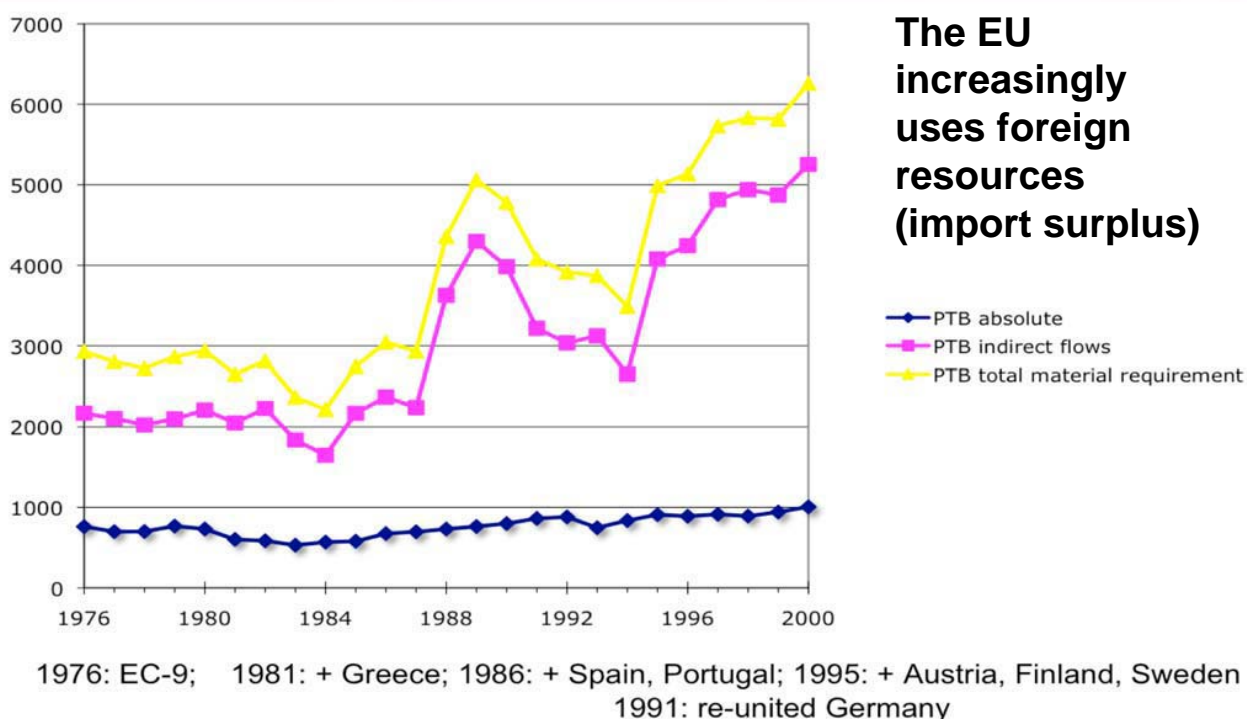
Source: Mudd 2007, Australia



Gold mining Peru  
Foto Edgar Llamoca

- **Ore grades decline**  
-> **impacts of mining grow**  
**(waste, water, landscapes)**

# Physical trade balance of EC/EU considering hidden flows



Source: Bringezu et al. 2009, based on Schütz et al (2003)

February 2010

Stefan Bringezu

9

Wuppertal Institute

## The presentation

- Why measure resource productivity?
- Some global trends
- Environmental policy and the German SDS
- Improving the raw material productivity indicator
- Issues for discussion

February 2010

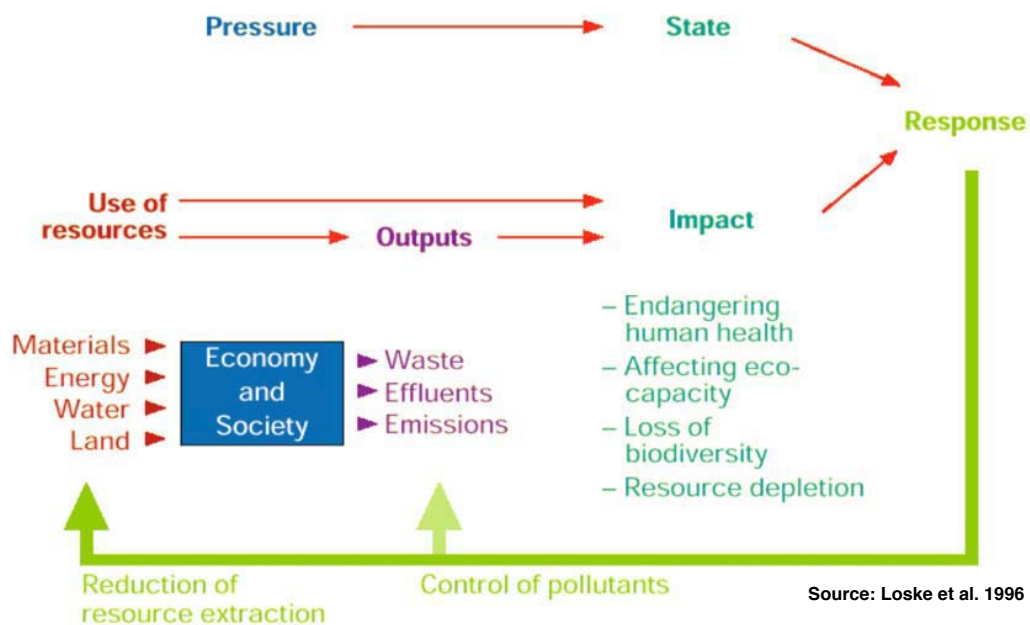
Stefan Bringezu

10

Wuppertal Institute



## Background: Development of environmental policy



February 2010

Stefan Bringezu

11

Wuppertal Institute

## The German Sustainability Strategy (established 2002)

### ■ 7 Environmental indicators (out of 21)

- GHG emissions
- share of renewable energies
- growth of settlement and infrastructure land use
- species diversity and quality of landscape
- nitrogen surplus
- share of organic farming
- air pollution

### ■ Scope mainly national

- Indirect GHG emissions of imports/exports are also reported

February 2010

Stefan Bringezu

12

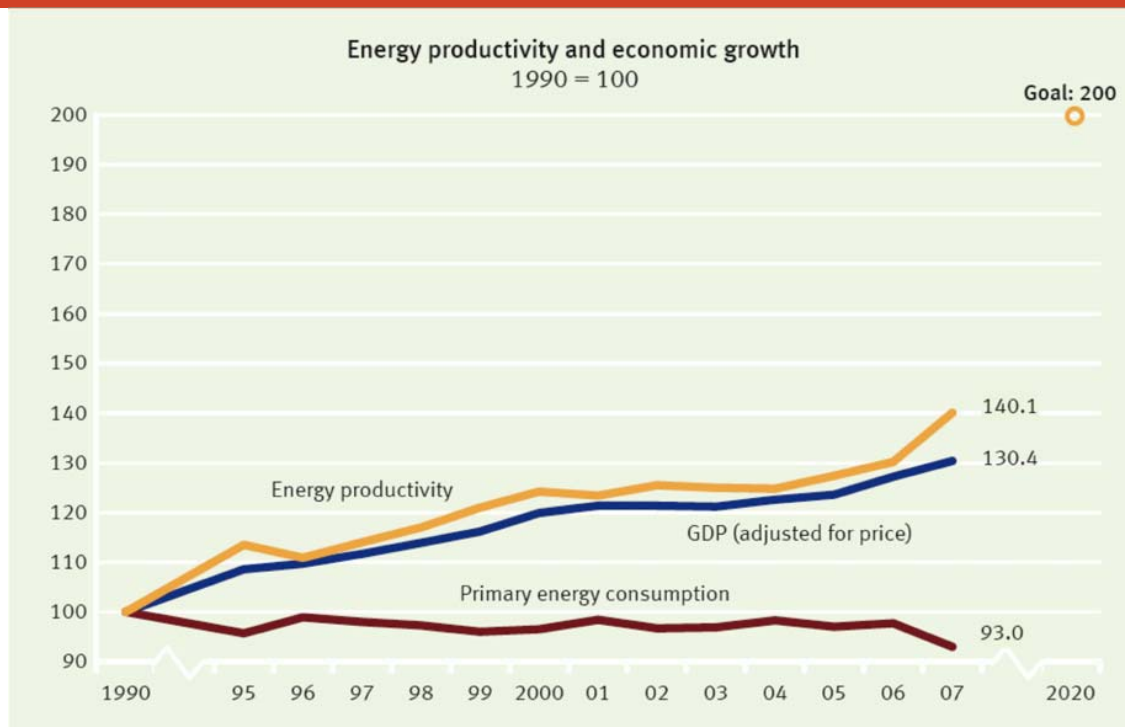
Wuppertal Institute

## The German Sustainability Strategy aiming at decoupling

- **No1 indicator:**
  - 1a energy productivity (doubling from 1990 to 2020)
  - 1b raw material productivity (doubling from 1994 to 2020)
- **Goals:**
  - Reduction of absolute resource consumption of limited resources by increase of resource productivity
  - Long-term vision Factor4
- **Operationalization:**

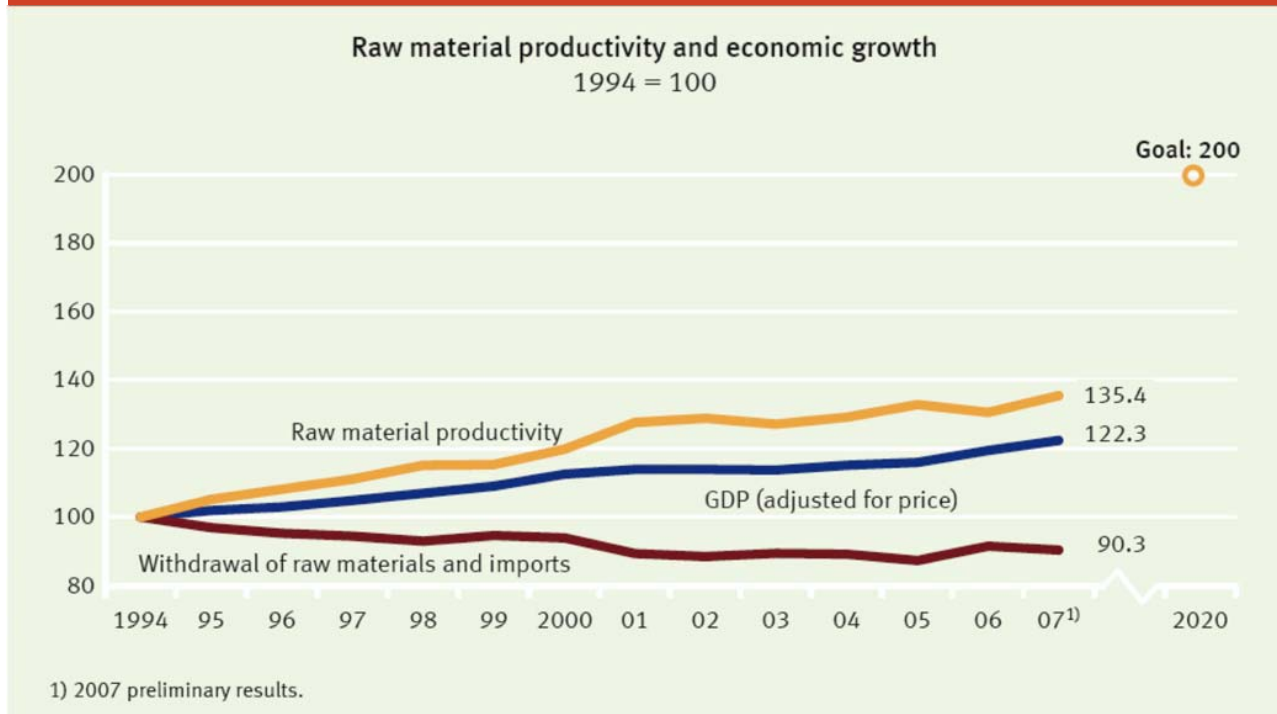
$$\text{RMP} = \text{GDP} / (\text{DMI} - \text{Biomass})$$

## Relative decoupling of energy consumption and economic growth in Germany



Source: DESTATIS 2008

# Increase of raw material productivity in Germany

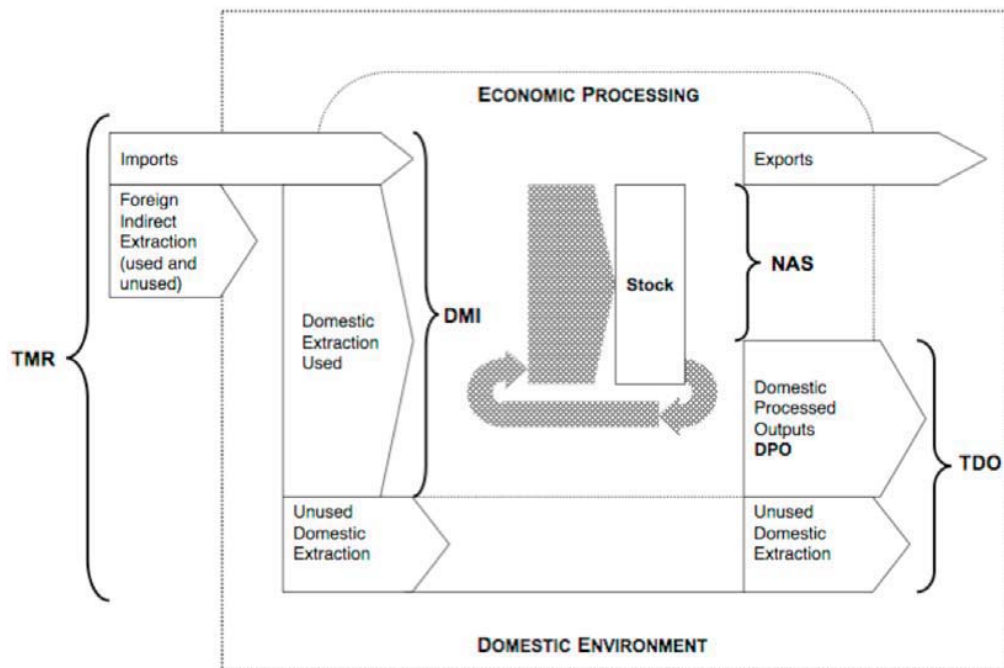


Source: DESTATIS 2008

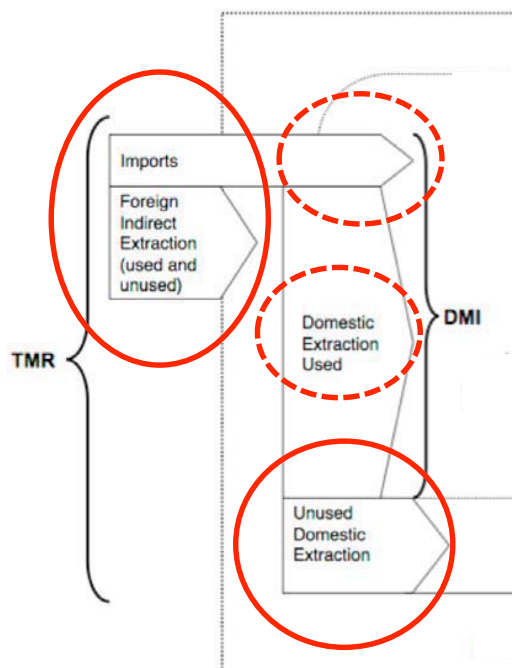
## The presentation

- Why measure resource productivity?
- Some global trends
- Environmental policy and the German SDS
- Improving the raw material productivity indicator
- Issues for discussion

# General scheme of the socio-industrial metabolism



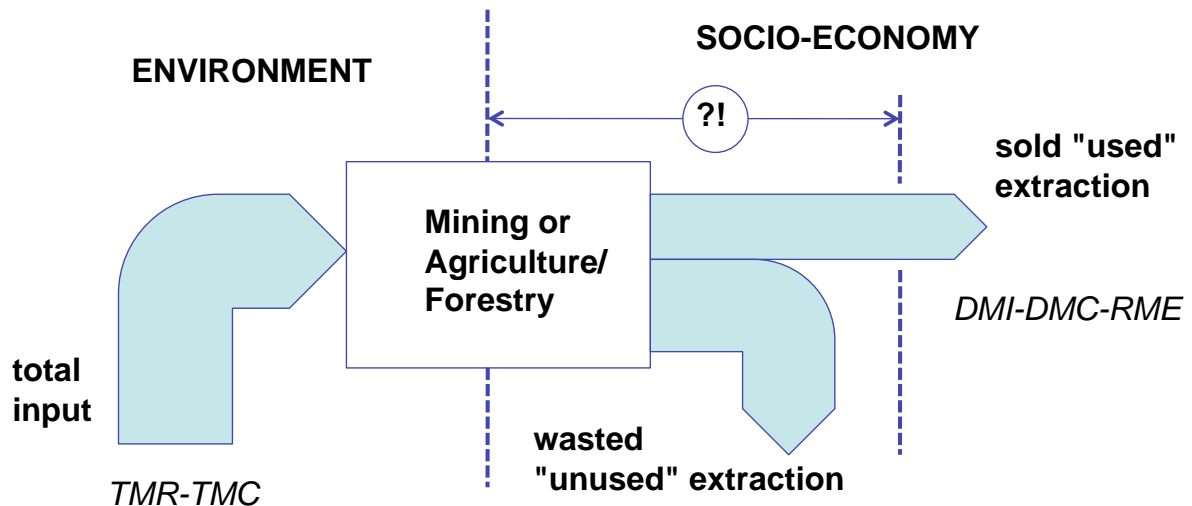
## What the raw material productivity indicator does not consider



- Biomass, thus not accounting for its (un)productive use
- Resource use of imports, thus supporting problem shifting
- Unused extraction, thus neglecting environmentally relevant flows

## In search for a (set of) more comprehensive indicators for sustainable resource use (1)

- How far shall the system boundary be extended?



- What is the target question ?!

## In search for more comprehensive indicators for sustainable resource use (2)

- How to consider environmental impacts associated with resource and material use?
  - set of indicators or aggregated index?
  - how to consider multitude of materials and products?
  - generic vs. issue specific indicators?

System-turnover-based indicators of generic environmental pressure	Impact-based indicators of specific environmental pressures
Primary energy requirements	Global warming potential
Primary material requirements	Ozone depletion potential
Water consumption	Acidification potential

## Possible relations to measure materials and resource productivity (OECD 2008)

Type of input measure Type output measure	<i>Direct Material Input or Raw Material Input</i>	<i>Total Material Requirement (incl. indirect flows)</i>	<i>Domestic Material Consumption or Raw Material Consumption</i>	<i>Total Material Consumption (incl. indirect flows)</i>
<b>GDP, Value added</b>	Direct Material Productivity GDP/DMI Direct Raw material Productivity GDP/RMI	Total Material Productivity GDP/TMR	Domestic Material Productivity GDP/DMC Domestic Raw Material productivity GDP/RMC	Total Domestic Material Productivity GDP/TMC

## Indicator candidates as denominator for a productivity measure or complementary indicator

- **Direct Material Input (DMI) or Domestic Material Consumption (DMC)**
- **DMI or DMC as Raw Material Equivalents (RME)**
- **Total Material Requirement (TMR) or Total Material Consumption (TMC)**
- **Environmental Impact Load (EVIL)**
- **Environmentally weighted Material Consumption (EMC)**

## The presentation

- Why measure resource productivity?
- Some global trends
- Environmental policy and the German SDS
- Improving the raw material productivity indicator
- **Issues for discussion**

## Issues for discussion – criteria for indicator assessment

- **Direction safety**
  - (a) progress towards sustainable resource use
  - (b) regarding generic or specific environmental impacts
- **Practicability**
  - (a) data availability
  - (b) effort for compilation and regular up-date
  - (c) robustness: accuracy and uncertainties
- **Solid method description, available guidance**
- **International comparability and harmonization**



**Wuppertal Institute**  
for Climate, Environment  
and Energy

**Many thanks for your attention !**

**[stefan.bringezu@wupperinst.org](mailto:stefan.bringezu@wupperinst.org)**





# The OECD framework of accounting for material flow and resource productivity and recent experiences in Japan

**Yuichi Moriguchi, Dr. Eng.**

Director  
Research Center for Material Cycles and Waste Management  
National Institute for Environmental Studies, Japan



Visiting Professor, Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

Vice Chair (Ex-Chair for 2003-2008), OECD/EPOC/WGEIO

Member, International Panel for Sustainable Resource Management, UNEP

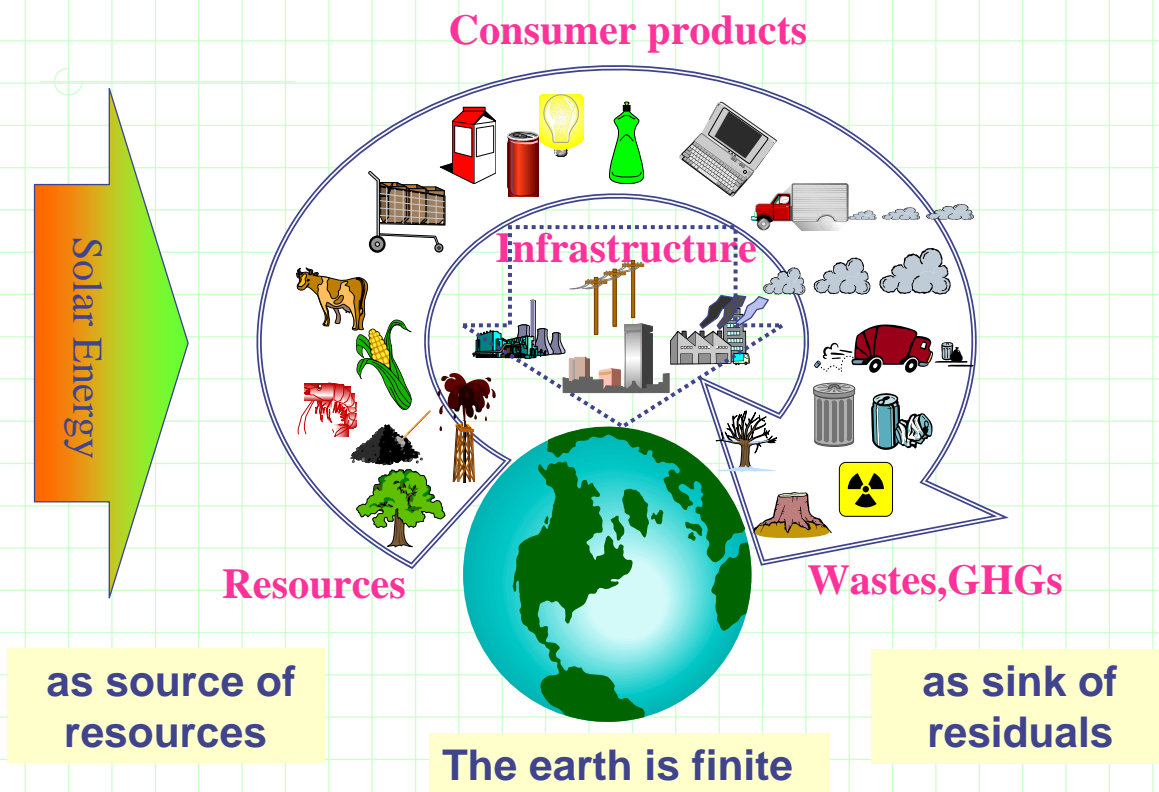
1

## Contents of speech

- **Background: Massive material flows of industrialized economies**
- **Progress in Material Flow Analysis/Accounting/Indicators**
  - ◆ Interaction between international activities and nation-specific progress
  - ◆ Interaction between methodological experts and policy users
  - ◆ Progress in expert communities, e.g. ConAccount, ISIE
- **OECD's activities on material flows and resource productivity**
  - ◆ Council Recommendations (1<sup>st</sup> CR on MF/RP 2004, 2<sup>nd</sup> CR on RP 2008)
  - ◆ OECD's set of guidance documents
  - ◆ Co-operations with other int'l organizations (EEA, EUROSTAT, UNEP)
- **Recent experiences in Japan**
  - ◆ Introduction of macro MF indicators and numerical targets in Japanese 1<sup>st</sup> Fundamental Plan for establishing a Sound Material-Cycle Society
  - ◆ New MF indicators with/without numerical targets in revised 2<sup>nd</sup> FPSMCS
  - ◆ Use of MF approach in industries (e.g. in environmental reporting)
- **Conclusion**

2

# Massive flow of materials on the globe

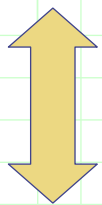


3

## Why do material flows matter ?

### ◆ Dematerialization

Total size of MF, scarcity of resources, scarcity of waste dumping site, etc.



Proxy of environmental impacts ?  
Common background of environmental problems?

### ◆ Detoxification

Minimization of use and release of critical /hazardous substances (pollutants)

# Alternative views to rationalize the need to reduce the total requirement for materials

In addition to resource issues (price, scarcity, equitable use, etc.), we have rationale from perspectives of environmental impacts.

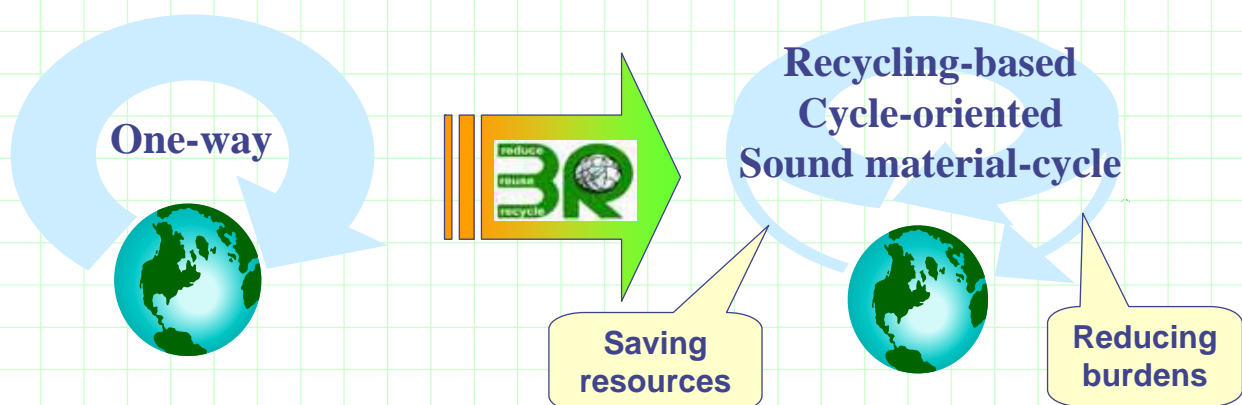
- ◆ We need to reduce the massive **environmental pressures in material resources extraction**
- ◆ Dematerialization directly contributes to **prevention of the generation of massive solid wastes** at the end-of-life of material resources
- ◆ Dematerialization contributes to a reduction of **life-cycle energy consumption**, greenhouse gas emissions, and other **environmental impacts**.

Bringezu & Moriguchi (2001) in Handbook of Industrial Ecology 5

## Transition of socio-economic structure

Mass-production,  
mass-consumption,  
mass-disposal society

Sound material cycle  
society (SMCS)



# Contents of speech

- **Background: Massive material flows of industrialized economies**
- **Progress in Material Flow Analysis/Accounting/Indicators**
  - ◆ Interaction between international activities and nation-specific progress
  - ◆ Interaction between methodological experts and policy users
  - ◆ Progress in expert communities, e.g. ConAccount, ISIE
- **OECD's activities on material flows and resource productivity**
  - ◆ Milestones since 1<sup>st</sup> Council Recommendation
  - ◆ OECD's guidance documents
  - ◆ Co-operations with other int'l organizations (EEA, EUROSTAT, UNEP)
- **Recent experiences in Japan**
  - ◆ Introduction of macro MF indicators and numerical targets in Japanese 1<sup>st</sup> Fundamental Plan for establishing a Sound Material-Cycle Society
  - ◆ New MF indicators with/without numerical targets in revised 2<sup>nd</sup> FPSMCS
  - ◆ Use of MF approach in industries (e.g. in environmental reporting)
- **Conclusion**

7

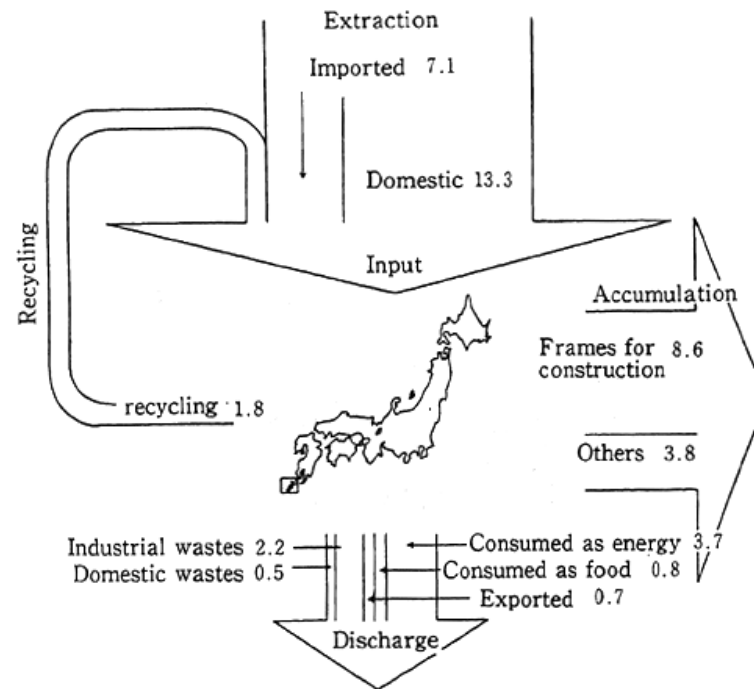
## Chronology of international interactions(1990-2000) - Mainly between Japan and Europe (in particular Germany) -

- 1991 The term “Junkan-gata-shakai (Sound Material-cycle Society)” was proposed by an expert committee of Japan Environment Agency
- Since 1992 Material balance of Japan has been published on “White paper” (Quality of the Environment Report)
- Mid 1990s European experts noticed Japanese activity
- **1995 SCOPE Workshop on Indicators of Sustainable Development at Wuppertal Institute**
  - Initiation of International joint study (GER, JPN, USA, NET, +AUT)
- Late 1990s, WRI reports (Resource Flows, The Weight of Nations)
  - Methodological progress in ConAccount, ISIE, etc.
- 2000 Fundamental Law for establishing a Sound Material Cycle Society
- 2000 OECD MFA Seminar

8

## Material balance of Japan published on “White paper” 1992

Fig. 3-1-18 Japan's Material Balance (FY 1990 ; in hundred million tons)

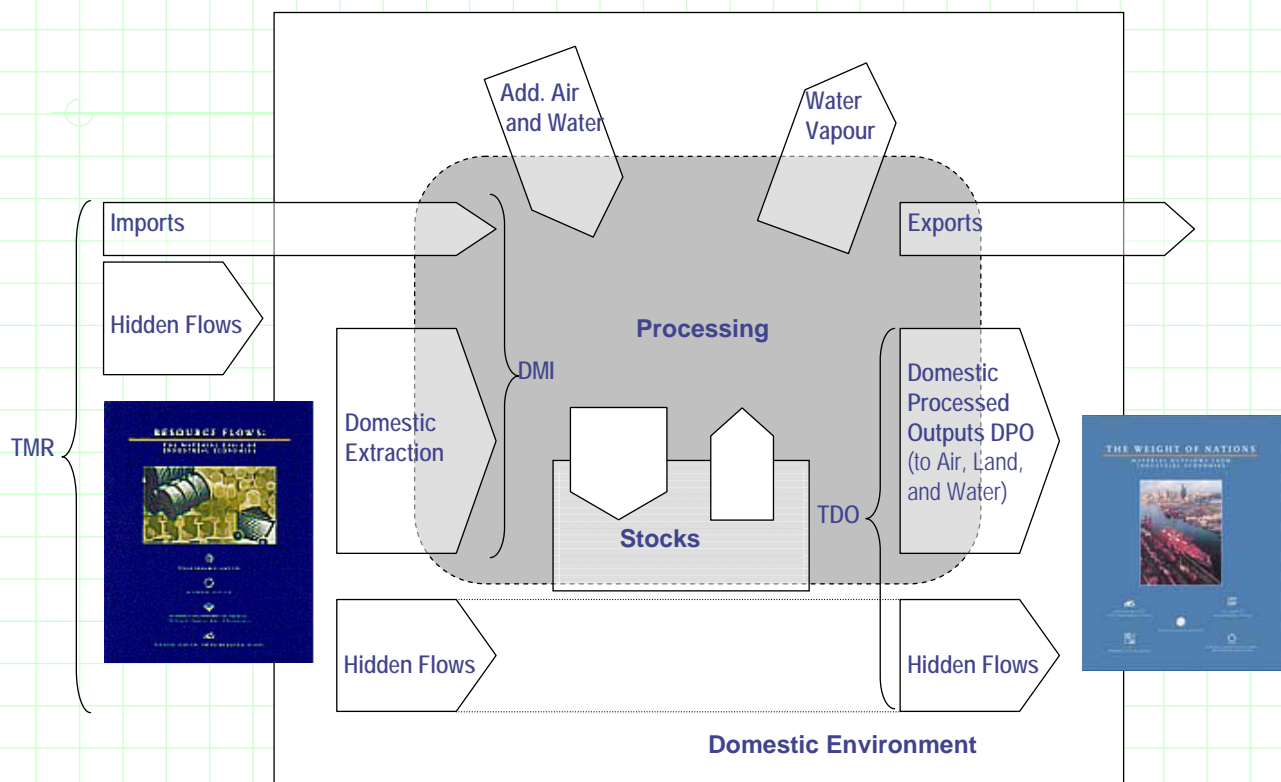


Source: Estimated by the Environment Agency based on various data

Source: Environment Agency of Japan, Quality of the Environment, 1992

9

## A framework for capturing macroscopic material flows



Source WRI (2000)

10

## Key international activities for MFA

### Research community

- International Joint Study (AUT,GER,JPN,NET,USA)
- ConAccount
- Gordon Conference on Industrial Ecology
- ISIE(International Society for Industrial Ecology)

### International organizations

- OECD(Environmental Accounting, De-coupling indicator, Waste prevention, Sustainable Material Management)
- EEA/ETCWMF(ETCRWM)
- EUROSTAT: Methodological guide
- UNSTAT:SEEA

11

## Chronology of international interactions(2000-)

- 2000 Fundamental Law for establishing a Sound Material Cycle Society  
OECD MFA Seminar
- 2003 MF Indicators and targets in 1<sup>st</sup> Japanese SMCS plan  
Japanese proposal at G8 meeting (MFA studies)
- 2004 OECD Council Recommendation on MF/RP  
2004-2006 OECD MFA WS in Helsinki, Berlin, Rome  
2004 Japanese proposal at G8 summit (3R initiative)
- 2005 3R Ministerial (OECD's proposal to host OECD/UNEP Conference)
- 2007 OECD/Japan Seminar for MF/RP  
Inaugural meeting of UNEP Resource Panel
- 2008 2<sup>nd</sup> Japanese SMCS plan  
(revised indicators, incl. monitoring of TMR)  
OECD 2<sup>nd</sup> Council Recommendation on RP  
OECD-UNEP Conf., OECD/EPOC Ministerial  
G8 Environmental Ministerial, G8 Summit

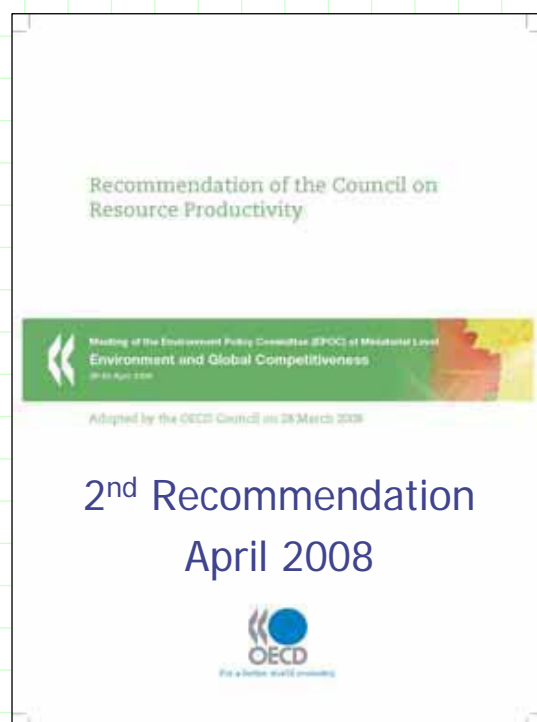
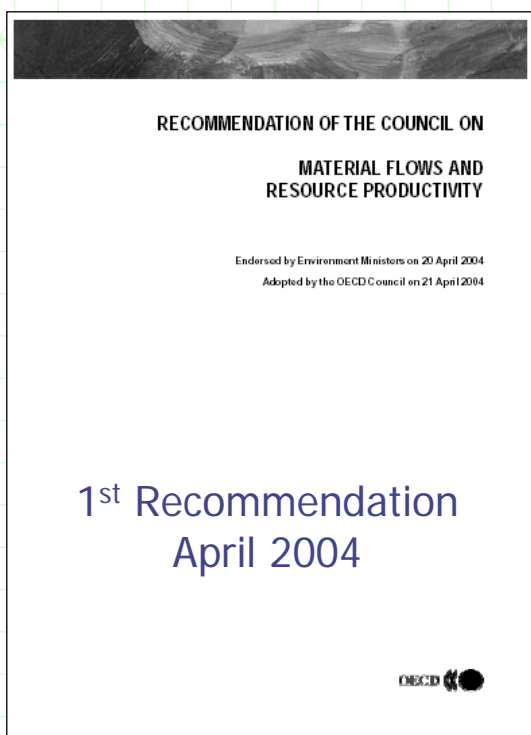
12

# Contents of speech

- **Background: Massive material flows of industrialized economies**
- **Progress in Material Flow Analysis/Accounting/Indicators**
  - ◆ Interaction between international activities and nation-specific progress
  - ◆ Interaction between methodological experts and policy users
  - ◆ Progress in expert communities, e.g. ConAccount, ISIE
- **OECD's activities on material flows and resource productivity**
  - ◆ Council Recommendations (1<sup>st</sup> CR on MF/RP 2004, 2<sup>nd</sup> CR on RP 2008)
  - ◆ OECD's set of guidance documents
  - ◆ Co-operations with other int'l organizations (EEA, EUROSTAT, UNEP)
- **Recent experiences in Japan**
  - ◆ Introduction of macro MF indicators and numerical targets in Japanese 1<sup>st</sup> Fundamental Plan for establishing a Sound Material-Cycle Society
  - ◆ New MF indicators with/without numerical targets in revised 2<sup>nd</sup> FPSMCS
  - ◆ Use of MF approach in industries (e.g. in environmental reporting)
- **Conclusion**

13

## OECD Council Recommendations



14



## 2004 Council Recommendation on MF/RP (1)

Recommends that **member countries**:

1. improve information on Material Flows
2. further develop and use indicators  
(with respect to the sustainability of resource use)
3. promote the development and use of MFA at macro and micro levels
4. link environmental and economic related information
5. cooperate and develop common methodologies and measurement systems



## 2004 Council Recommendation on MF/RP (2)

Instructs the **Environmental Policy Committee**:

1. to support and facilitate member countries effort
2. to continue efforts to improve methods and indicators
3. to develop a guidance document to assist member countries
4. to carry out these tasks in cooperation with other OECD bodies and other international organizations
5. to report to the Council on progress achieved by Member countries within three years of its adoption



## OECD's set of guidance documents

Vol. 1 The OECD Guide

Vol. 2 The Accounting Framework

Vol. 3 Inventory of Country Activities

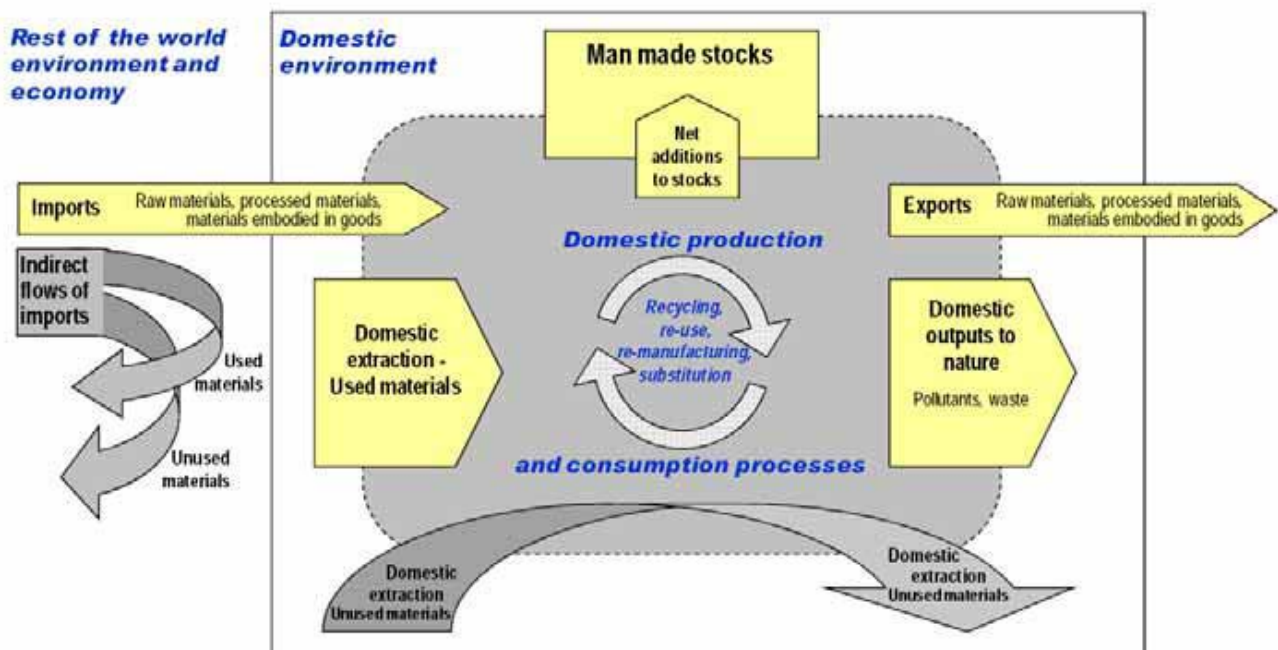


### Contents of Vol. 1

1. Natural Resources, Materials and the Economy
2. Analysing Material Flows: A Tool for Decision Making
3. Overall Framework for Material Flow Analysis
4. Measuring Progress: Material Flow and Resource Productivity Indicators
5. Establishing the Information Base

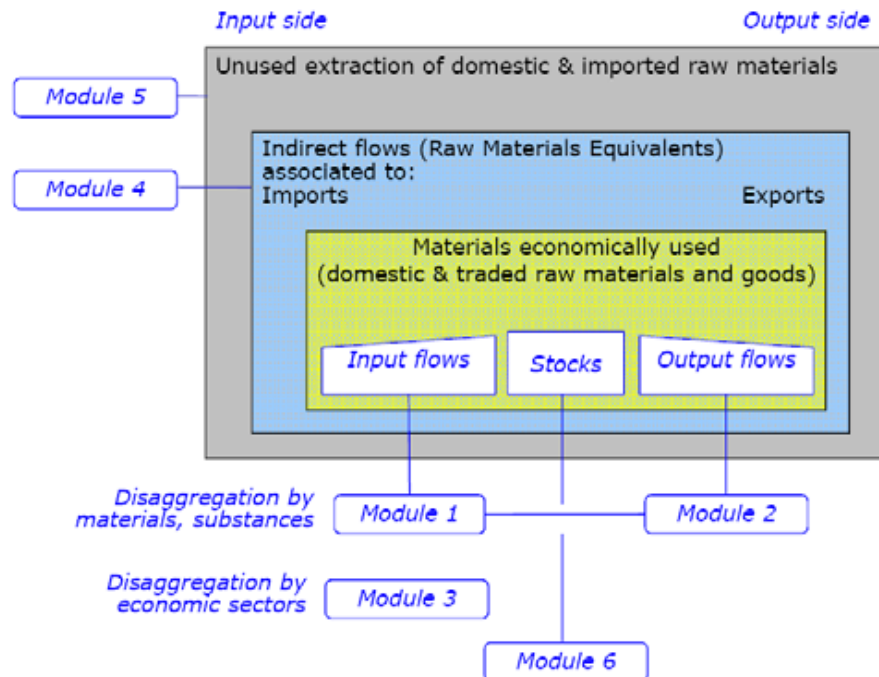
17

## Economy-wide material balance scheme



# A stepwise (modular) approach for MF accounts

## Hierarchy and sequence of steps for a system of national MF accounts

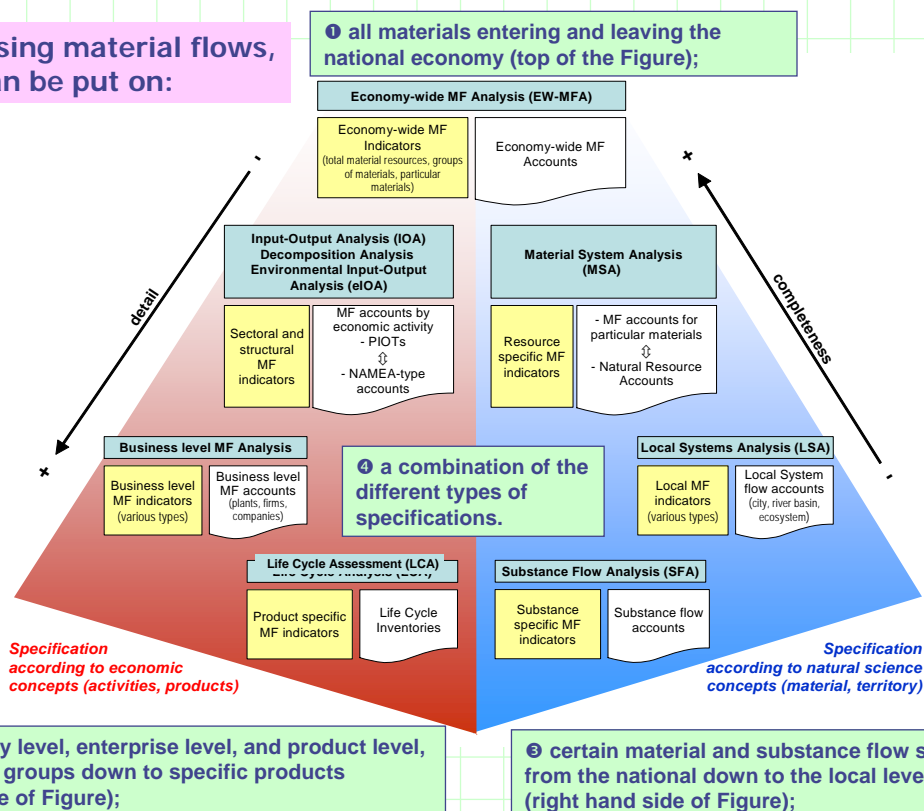


Each of these modules provides a basis for deriving material flow indicators.

Source: OECD(2008) Measuring material flows and resource productivity Volume I The OECD Guide 19

## Architecture and level of application of MFA tools

When analysing material flows, emphasis can be put on:



Source: OECD(2008) Measuring material flows and resource productivity Volume I The OECD Guide 20

## Material flow related analyses and associated issues of concern

Issues of concern	Specific concerns related to environmental impacts, supply security, technology development			General environmental and economic concerns related to the throughput		
	within certain businesses, economic activities, countries, regions			of substances, materials, manufactured goods		
	associated with			at the level of		
Objects of primary interest	Substances	Materials	Manufactured goods	Businesses	Economic activities	Countries, regions
	chemical elements or compounds e.g. Cd, Cl, Pb, Zn, Hg, N, P, C, CO <sub>2</sub> , CFC	raw materials and semi-finished goods e.g. energy carriers, metals (ferrous, non-ferrous), sand and gravel, timber, plastics	e.g. batteries, cars, computers	e.g. firms, companies, plants, medium sized and big enterprises, MNEs	e.g. production sectors, chemical industry, iron and steel industry, construction, mining	e.g. aggregate mass of materials (& related materials mix), groups of materials, selected materials
Type of analysis	Ia Substance Flow Analysis	Ib Material System Analysis	Ic Life Cycle Analysis	IIa Business level MF analysis	IIb Input-Output Analysis	IIc Economy-wide MF Analysis
	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕
Type of measurement tool	Substance Flow Accounts	Individual Material Flow Accounts ☉	Life Cycle Inventories (MF Inventories)	Business Material flow accounts	Physical Input-Output Tables ☉ ☉, NAMEA-type approaches ☉	Economy-wide Material Flow Accounts ☉

☉: MFA tools using the materials balance principle. ☉: MFA tools using national accounting principles fully in line with the SEEA.  
Source: OECD, based on Bringezu and Moriguchi 2002.

21

## 2008 Council Recommendation on RP (1)

Recommends, with regard to the **analysis** of the material flows and their environmental impacts, that **member countries**:

1. **Improve the scientific knowledge** concerning the environmental impacts and costs of resource use throughout the entire life cycle of materials and the products
2. **Upgrade** the extent and **quality of data on material flows** within and among countries and the associated environmental impacts
3. Work to improve and use soundly based, relevant and **internationally compatible material flow accounts**
4. Further **develop and promote the use of indicators** for the assessment of the efficiency of material resource use
5. **Co-operate with non-Member Economies** to strengthen their capacity for analysis of material flows and the associated environmental impacts
6. **Share OECD guidance and experience** on measurement and analysis of material flows and resource productivity with all relevant ministries and departments of government, research and other non-governmental organisations, and members of the private sector

22

## 2008 Council Recommendation on RP (2)

Recommends, with regard to the **policies** concerning the improvement of resource productivity, that **member countries**:

1. Consider the **use** of information about material flows and their environmental impacts for **planning purposes**, as appropriate in a national context, including, for instance, using such information for target setting, and share these experiences and best practices with other Member countries
2. **Promote** integrated **life-cycle-oriented approaches**, such as 3R policies (Reduce, Reuse, and Recycle), sustainable materials management and sustainable manufacturing
3. Further develop and promote the use of **new technologies and innovations** aimed at improving resource productivity
4. Encourage co-operation and **sharing of best practices** among enterprises
5. Contribute to the establishment of framework conditions that improve resource productivity through **economic instruments**
6. Co-operate to **ensure** that policy measures taken to improve resource productivity are **efficient in economic** terms, effective in environmental terms and **equitable in social** terms
7. **Co-operate with non-Member Economies** to strengthen their capacity for developing and implementing policies concerning the improvement of resource productivity.

23

## 2008 Council Recommendation on RP (3)

Instructs the Environment Policy Committee:

1. To **review** existing **policies and practices** and contribute to elaborating common principles and policy guidelines on resource productivity and sustainable materials management.
2. To strengthen its **capacity for material flow analysis** at the international level, with particular focus on key materials, on direct and indirect flows and their environmental impacts
3. To further develop and where appropriate **promote the use of material flow analysis, resource productivity indicators**, and methods for assessing the environmental impacts of resource use.
4. To **support Member countries' efforts** in developing and implementing integrated policies for managing natural resource and materials throughout their life cycles,
5. To **assist non-Member Economies** in developing and implementing policy frameworks and measurement systems
6. To carry out these tasks in **co-operation with other** appropriate **OECD bodies, other international organisations** such as UNEP (including the Resource panel) and G8 (including the 3R initiative) and the private sector.
7. **To report** to the Council on **progress achieved** in implementing this Recommendation, **within five years** of its adoption

24

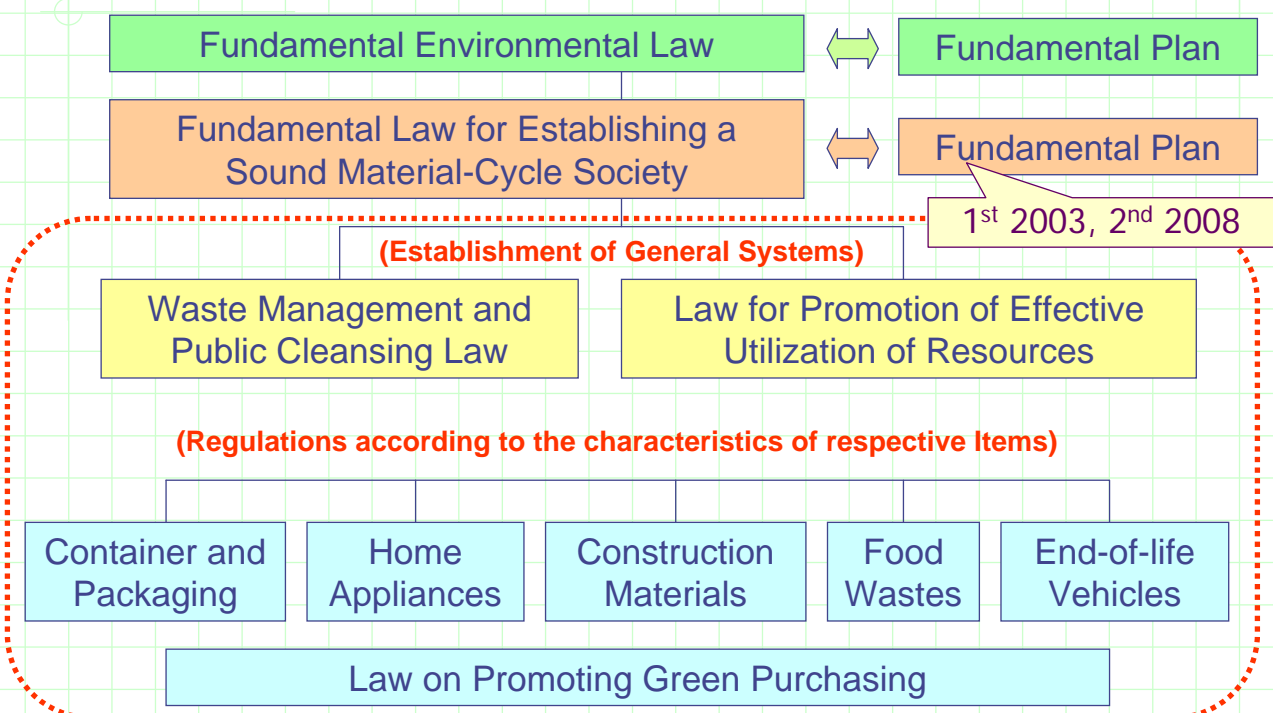


# Contents of speech

- **Background: Massive material flows of industrialized economies**
- **Progress in Material Flow Analysis/Accounting/Indicators**
  - ◆ Interaction between international activities and nation-specific progress
  - ◆ Interaction between methodological experts and policy users
  - ◆ Progress in expert communities, e.g. ConAccount, ISIE
- **OECD's activities on material flows and resource productivity**
  - ◆ Council Recommendations (1<sup>st</sup> CR on MF/RP 2004, 2<sup>nd</sup> CR on RP 2008)
  - ◆ OECD's set of guidance documents
  - ◆ Co-operations with other int'l organizations (EEA, EUROSTAT, UNEP)
- **Recent experiences in Japan**
  - ◆ Introduction of macro MF indicators and numerical targets in Japanese 1<sup>st</sup> Fundamental Plan for establishing a Sound Material-Cycle Society
  - ◆ New MF indicators with/without numerical targets in revised 2<sup>nd</sup> FPSMCS
  - ◆ Use of MF approach in industries (e.g. in environmental reporting)
- **Conclusion**

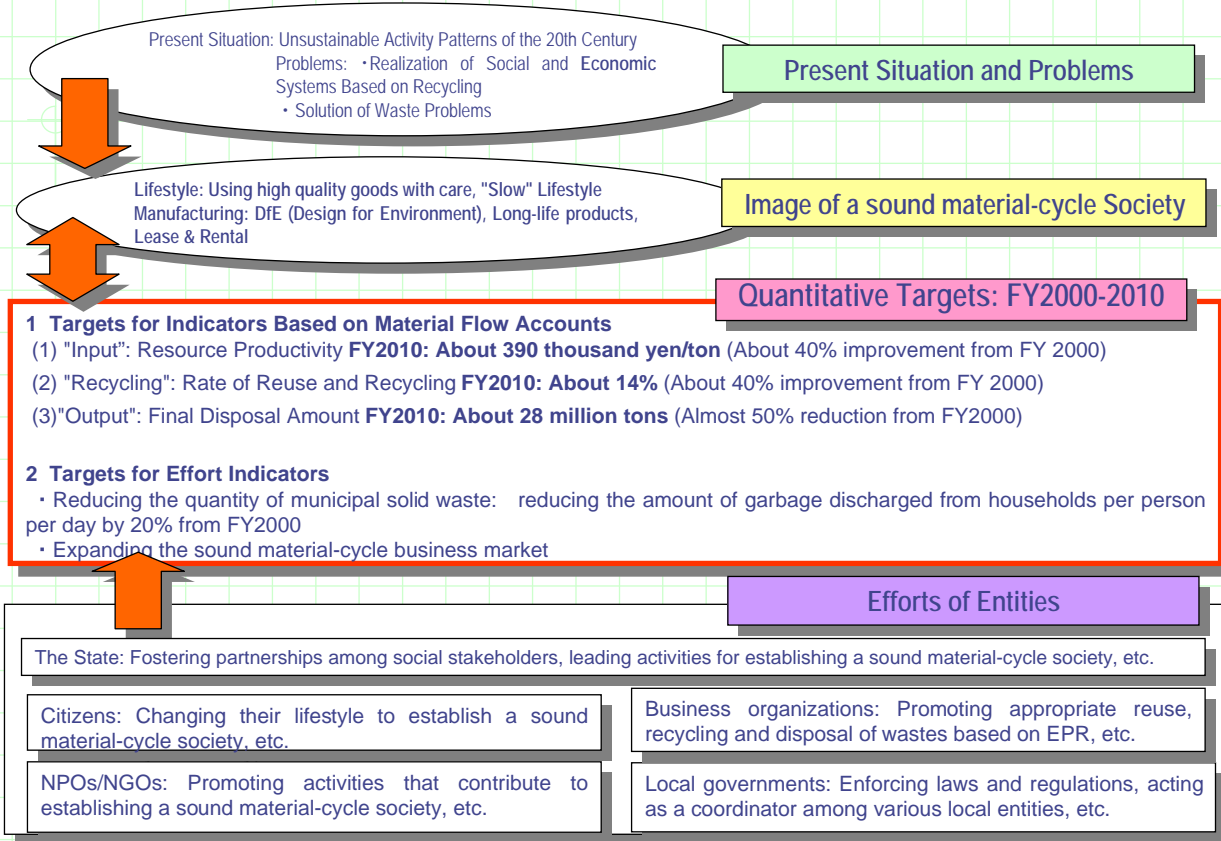
25

## Law and Regulation

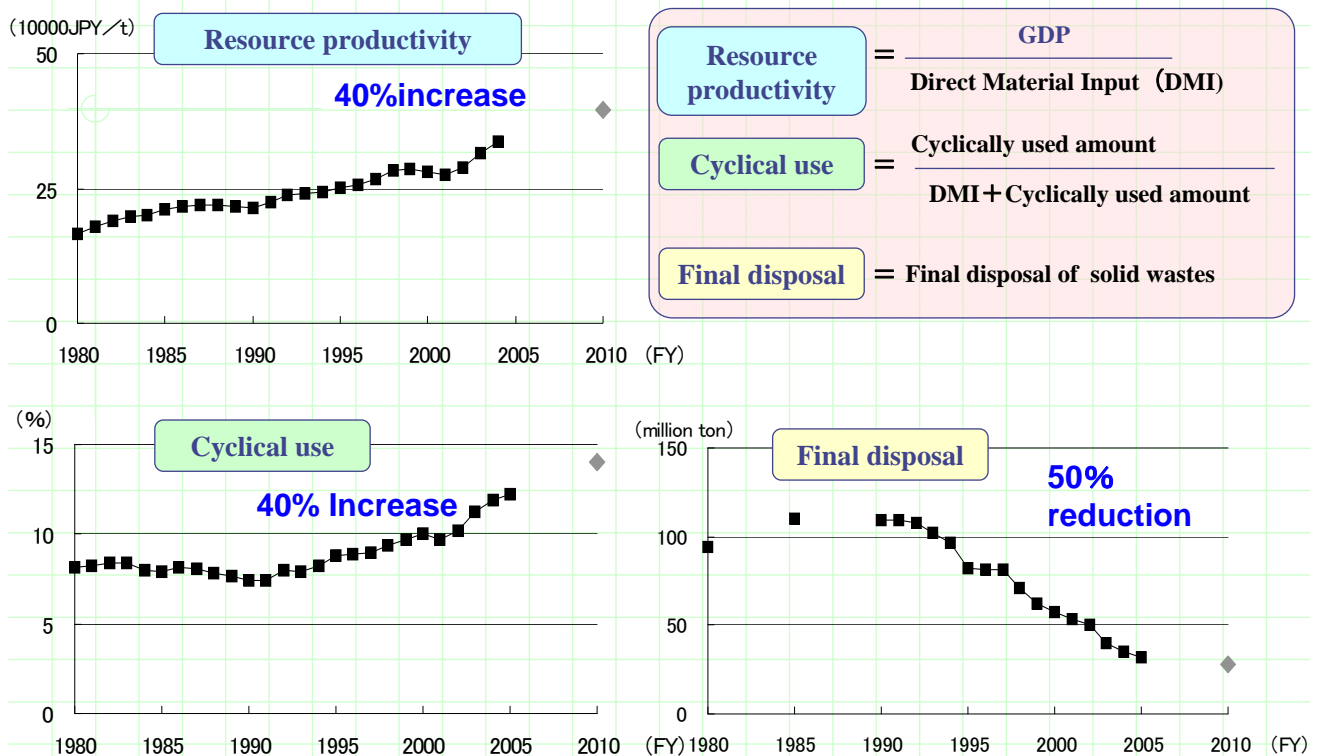


26

## The Fundamental Plan for Establishing a Sound Material-Cycle Society (Outline)

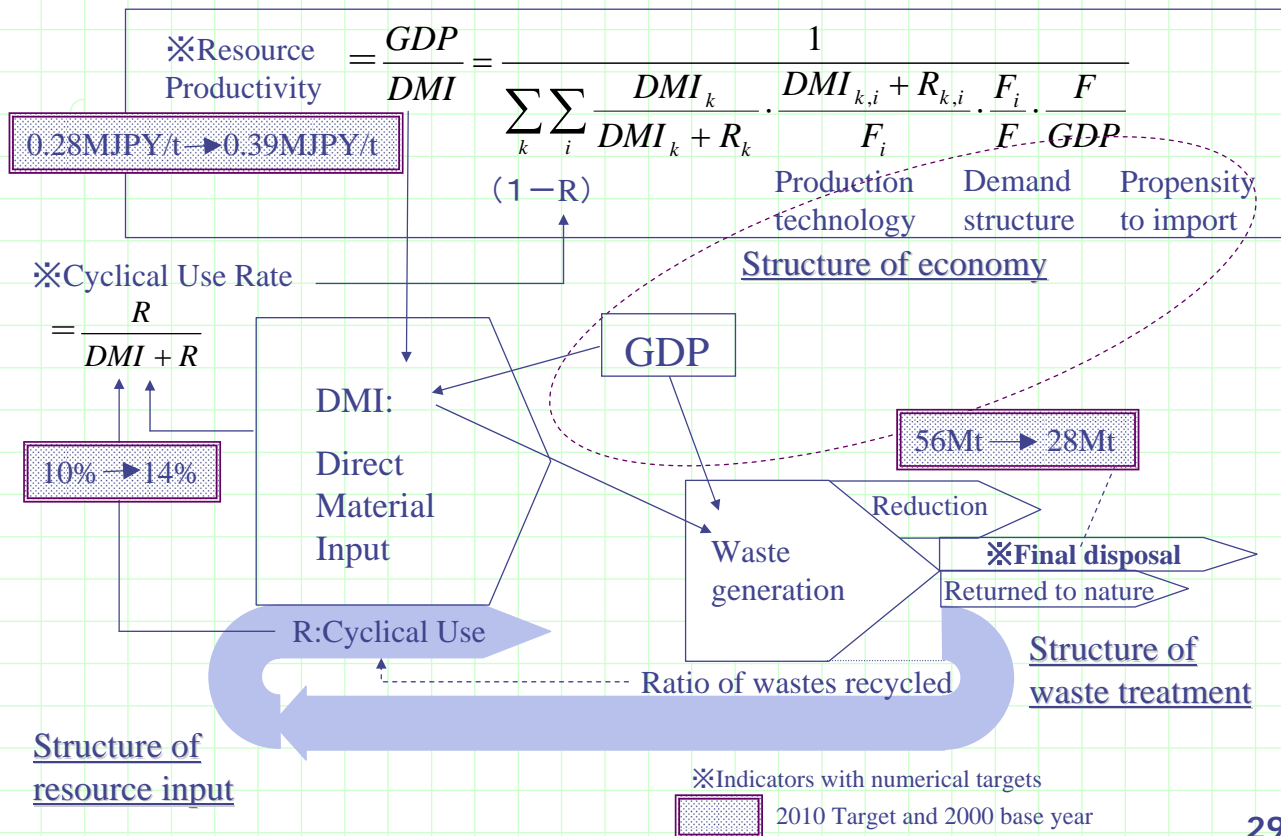


## Trend of 3 material flow indicators towards target



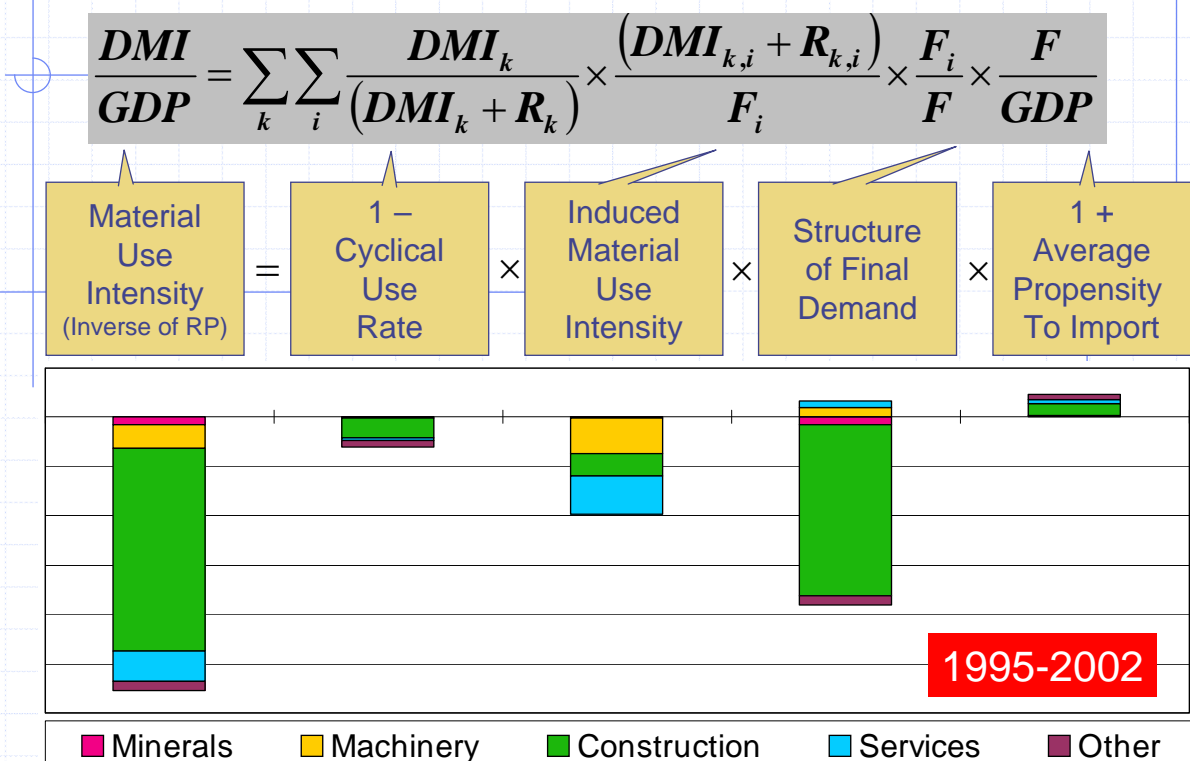
Revised targets for 2015 were set by the revision in March 2008

## Framework of a Material Flow Model used for setting targets



29

## Decomposition analysis of resource productivity (by materials)





## The Extension of Indicators under the 2nd Fundamental Plan for Establishing a Sound Material Cycle Society (Mar. 2008) (material flow based indicators)

### 1 Indicators with target setting (as compared with 2000)

- |                                    |           |      |     |      |        |
|------------------------------------|-----------|------|-----|------|--------|
| 1) "Input": Resource Productivity  | increase  | 2010 | 40% | 2015 | 60%    |
| 2) "Recycle": Cyclical use Rate    | increase  | 2010 | 40% | 2015 | 40-50% |
| 3) "Output": Final Disposal Amount | reduction | 2010 | 50% | 2015 | 60%    |

### 2 Supplementary indicators with target setting

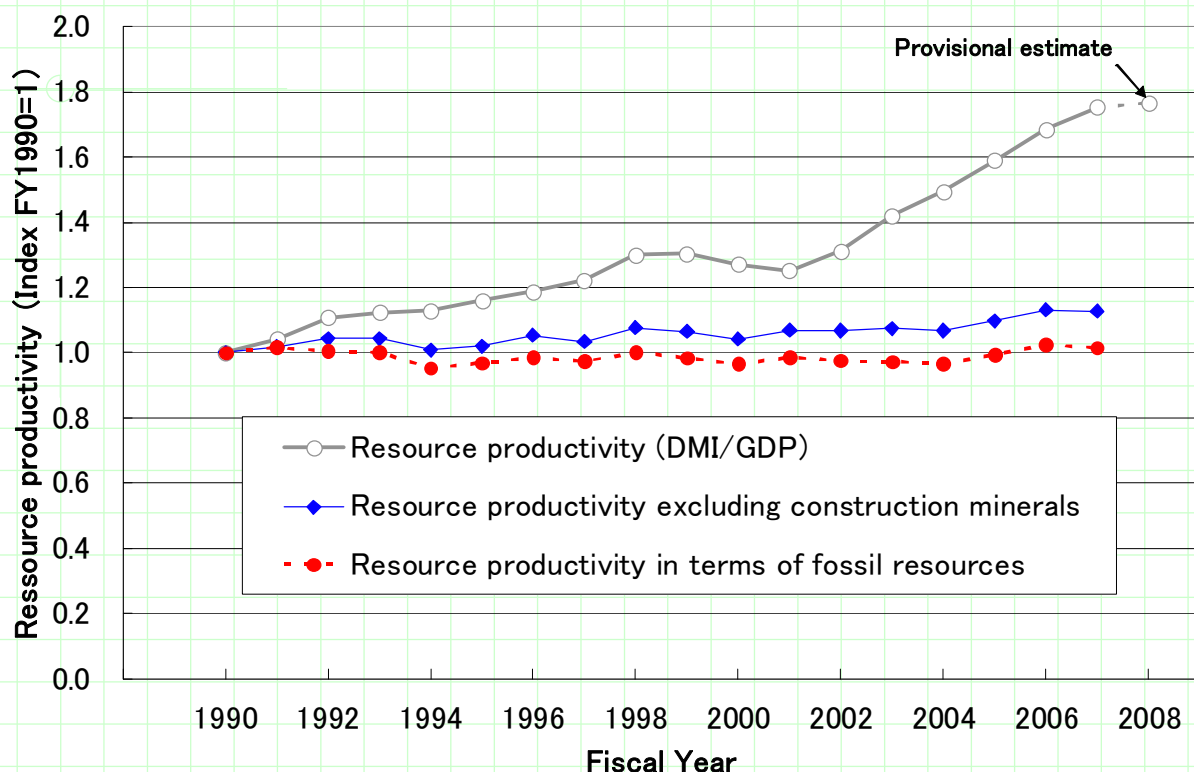
- 1) Resource productivity not including resource input of construction minerals
- 2) Collaboration with the action for low carbon society
  - the amount of reduction by the measures of waste sector to reduce GHGs emission
  - GHGs emission associated with waste sector and fossil fuels to be substituted by waste power generation (monitoring)

### 3 Indicators to monitor progress

- 1) Resource productivity related to fossil fuels
- 2) Input rate of biomass resources
- 3) Hidden Flow and TMR (Total Material Requirement) (the example of estimation: about 21 times larger than the import of metal resources)
- 4) Indicators considering international resource circulation
- 5) Resource productivity of each industrial sector

31

## Trends of Japan's Resource Productivity with different scope

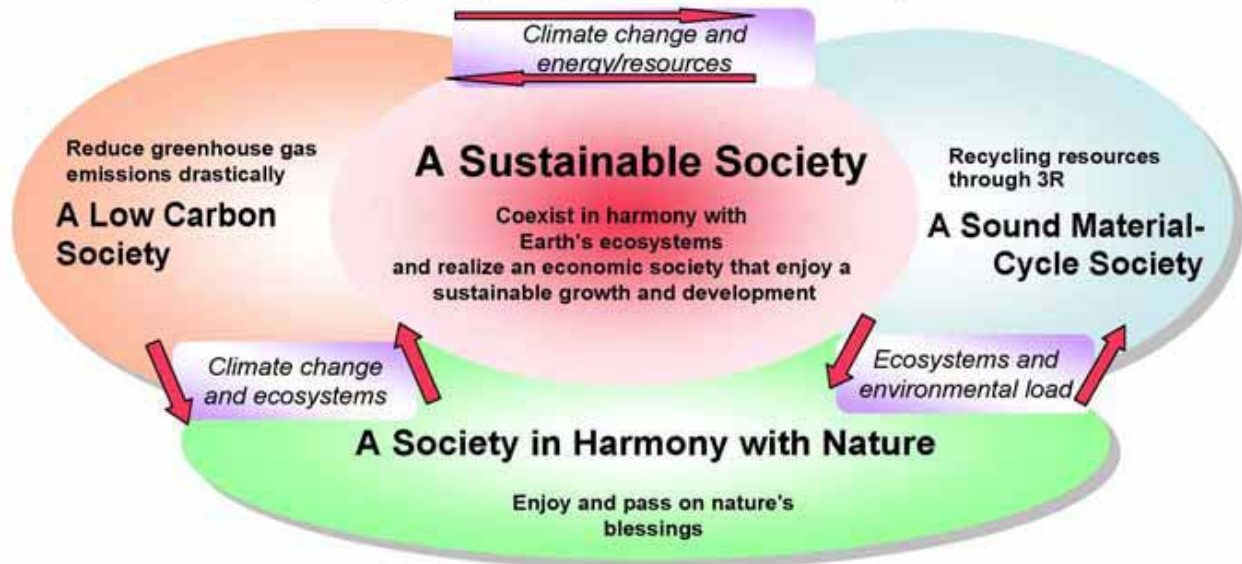


32

# Japan's strategy for a Sustainable Society

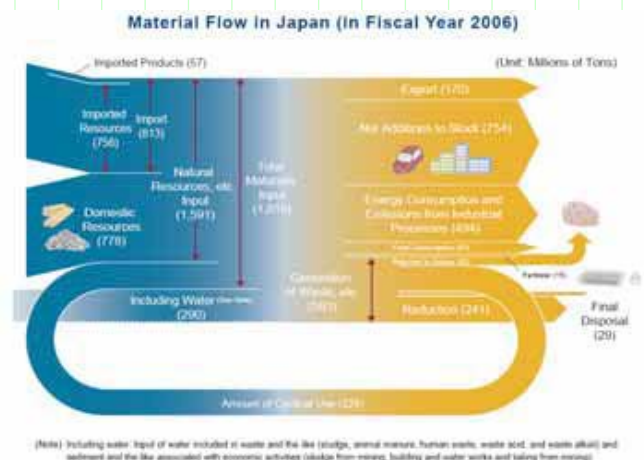
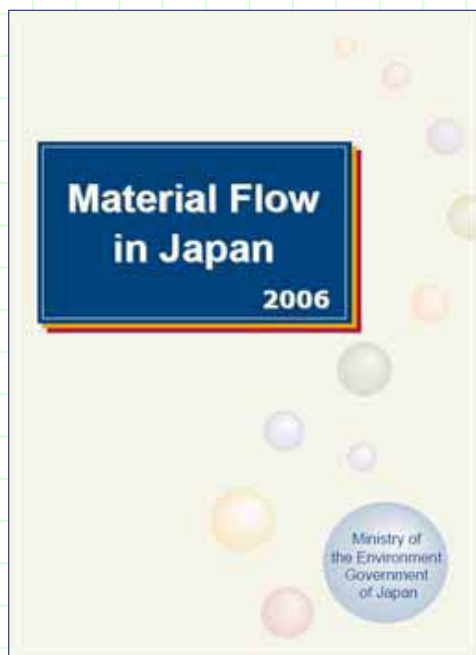
(Cabinet Meeting Decision on June 1, 2007)

Integrating 3 Aspects of a Sustainable Society



<http://www.env.go.jp/en/focus/070606.html>

## English booklet: Material Flow in Japan



[http://www.env.go.jp/en/recycle/smcs/material\\_flow/2006\\_en.pdf](http://www.env.go.jp/en/recycle/smcs/material_flow/2006_en.pdf)

# Contents of speech

- **Background: Massive material flows of industrialized economies**
- **Progress in Material Flow Analysis/Accounting/Indicators**
  - ◆ Interaction between international activities and nation-specific progress
  - ◆ Interaction between methodological experts and policy users
  - ◆ Progress in expert communities, e.g. ConAccount, ISIE
- **OECD's activities on material flows and resource productivity**
  - ◆ Council Recommendations (1<sup>st</sup> CR on MF/RP 2004, 2<sup>nd</sup> CR on RP 2008)
  - ◆ OECD's set of guidance documents
  - ◆ Co-operations with other int'l organizations (EEA, EUROSTAT, UNEP)
- **Recent experiences in Japan**
  - ◆ Introduction of macro MF indicators and numerical targets in Japanese 1<sup>st</sup> Fundamental Plan for establishing a Sound Material-Cycle Society
  - ◆ New MF indicators with/without numerical targets in revised 2<sup>nd</sup> FPSMCS
  - ◆ Use of MF approach in industries (e.g. in environmental reporting)
- **Conclusion**

37

## Key methodological questions to meet policy needs

- Attribution of MFs to national production or consumption to ensure international comparability of MF indicators
- Disaggregation by sectors and by materials to meet the needs from other users than national policy makers
- Quantification of hidden flows (system boundary, data availability)
- Linking MF information with specific environmental problems (impact, damage-based quantification)
- Better understanding of upstream (e.g. mining) and downstream (e.g. waste management) flows and their environmental impacts
- Compilation of internationally comparable/common database

38

## OECD, IE, ConAccount and other MFA meetings in last 15 years

- SCOPE WS on Indicators of SD, November 1995, [Wuppertal](#)
- [ConAccount Workshop](#), January 1997, Leiden
- [ConAccount Conference](#), September 1997, [Wuppertal](#)
- 1<sup>st</sup> Gordon Conference on IE, June 1998, New London (NH)
- [ConAccount Workshop](#), November 1998, Amsterdam
- 2<sup>nd</sup> Gordon Conference on IE, June 2000, New London (NH)
- OECD MFA / WMF-RP seminar, October 2000, Paris
- ConAccount Conference, April 2001, Stockholm
- 1<sup>st</sup> ISIE Conference, November 2001, Noordwijkerhout
- 3<sup>rd</sup> Gordon Conference on IE, June 2002, New London (NH)
- 2<sup>nd</sup> ISIE Conference, June-July 2003, Ann Arbor (MI)
- [ConAccount Workshop](#), October 2003, [Wuppertal](#)
- Int'l expert WS on MFA & RP, November 2003, [Tokyo](#)
- OECD workshop on MFA, June 2004, Helsinki
- 4<sup>th</sup> Gordon Conference on IE, August 2004, Oxford
- [ConAccount Meeting](#), October 2004, Zuerich
- OECD workshop on MFA, May 2005, [Berlin](#)
- 3<sup>rd</sup> ISIE Conference, June 2005, Stockholm
- OECD workshop on SMM, November 2005, Seoul
- OECD workshop on MFA, May 2006, Rome
- 5<sup>th</sup> Gordon Conference on IE, August 2006, Oxford
- [ConAccount Meeting](#), September 2006, Vienna
- 4<sup>th</sup> ISIE Conference, June 2007, Toronto
- OECD/Japan Seminar on MF/RP, September 2007, [Tokyo](#)
- OECD-UNEP Conference on Resource Efficiency, April 2008, Paris
- 6<sup>th</sup> Gordon Conference on IE, June 2008, New London (NH)
- [ConAccount Meeting](#), September 2008, Prague
- 5<sup>th</sup> ISIE Conference, June 2009, Lisbon
- [ConAccount Meeting](#), November 2010, [Tokyo](#)

39



- Home
- Scope
- Important Dates
- Call for Abstracts
- Registration
- Program
- Venue & Accommodations
- Committee
- Contact

Home > Important Dates

### Important Dates





<b>8 February 2010</b>	Call for abstracts
<b>March 2010</b>	Online abstract submission system open
<b>31 May 2010</b>	Online abstract submission deadline
<b>July 2010</b>	Acceptance notification Online registration system open
<b>31 July 2010</b>	Online abstract revision deadline (please note that changes in the title and authors are not allowed)
<b>September 2010</b>	Tentative program announcement
<b>15 October 2010</b>	Presenter registration deadline (at least one of the authors must register for their paper to be included in the final program of the meetings)
<b>7-9 November 2010</b>	ISIE Asia-Pacific Meeting and ISIE MFA-ConAccount Meeting

<http://www.isieapmfa.info/index.html>

40





# Measuring Material Use and Resource Productivity in Europe

Stephan Moll (Eurostat)

Workshop: “Material Use Indicators for Measuring Resource Productivity and Environmental Impacts”,  
Berlin 25-26 February 2010

13-Jul-07



## Overview – main messages

- Eurostat ...
- has been fostering the methodological harmonisation of measuring material use in Europe (EW-MFA Guide)
- since 2007: European-wide data collections
- to date: DMC published as aggregated material use indicator (GDP/DMC = resource productivity)
- future: DMC in raw material equivalents (RME)

13-Jul-07 Name of the presentation



## Methodological harmonisation

- Eurostat Task Forces on material flow accounts
- Method: economy-wide material flow accounts and derived indicators (Guide 2001)
  - domestic extraction (DEU)
  - imports and exports (trade)
  - derived indicators:
    - » Domestic Material Input (DMC) Direct Material Inputs (DMI)
- on country level:
- Strengthening capacities in national statistical institutions (NSIs)
- Financial supports (grants), training workshops

## Producing data

- started with Eurostat estimates for DEU, trade, DMC and DMI
- since 2007: data collection from NSIs (bi-annually)
- electronic questionnaire comprising tables for DEU, trade, DPO
- gentlemen agreement with NSIs (future: legal base ?)

## Producing data – 2009 EW-MFA survey

- deadline: September 2009
- response rate: 26 countries (EU, EFTA, CC)
- ongoing: data checking & validation
- next steps: gap-filling and estimation of EU aggregates
- publish: around may 2010

=> more details (Working Group paper):

[http://circa.europa.eu/Public/irc/dsis/envirmeet/library?l=/environmental\\_24032010&vm=detailed&sb=Title](http://circa.europa.eu/Public/irc/dsis/envirmeet/library?l=/environmental_24032010&vm=detailed&sb=Title)

## Resource Productivity

- Eurostat uses GDP/DMC (€/kg)
- = Sustainable Development Indicator (SDI)  
<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/sdi/indicators/theme2>
- = Structural Indicator (Lisbon strategy)  
[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/structural\\_indicators/indicators/environment](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/structural_indicators/indicators/environment)
- currently published data = 2007 survey



## Resource Productivity

- However ...
- DMC as an aggregate material use indicator is perceived sub-optimal (best available but not best wanted)
- Intrinsic asymmetry of DMC:
  - DEU is measured in raw materials
  - Trade is measured in products

## Future – the way ahead...

- Strategy towards  $DMC_{RME}$ :
- ...to overcome asymmetry ...
- transforming traded products into raw material equivalents (RME)
- providing default European RME-coefficients
- for ca. 10000 products (CN 8-digit)
- for main material categories (biomass, minerals, fossils)
- assisting contract running until December 2010
- decision on next steps depends on results (data robustness)

## Future – the way ahead...

- adding DEU to an environmentally-extended Input-Output framework (e.g. exports in RME, modelling)
- later: adding imports in RME to eeIO

- Hoping that the Legal Base for reporting is adopted by countries





## **Measuring DMI, DMC, TMR and TMC of Germany**

Presentation  
Workshop „Material Use  
Indicators for Measuring  
Resource Productivity and  
Environmental Impacts“  
25 February 2010  
Berlin

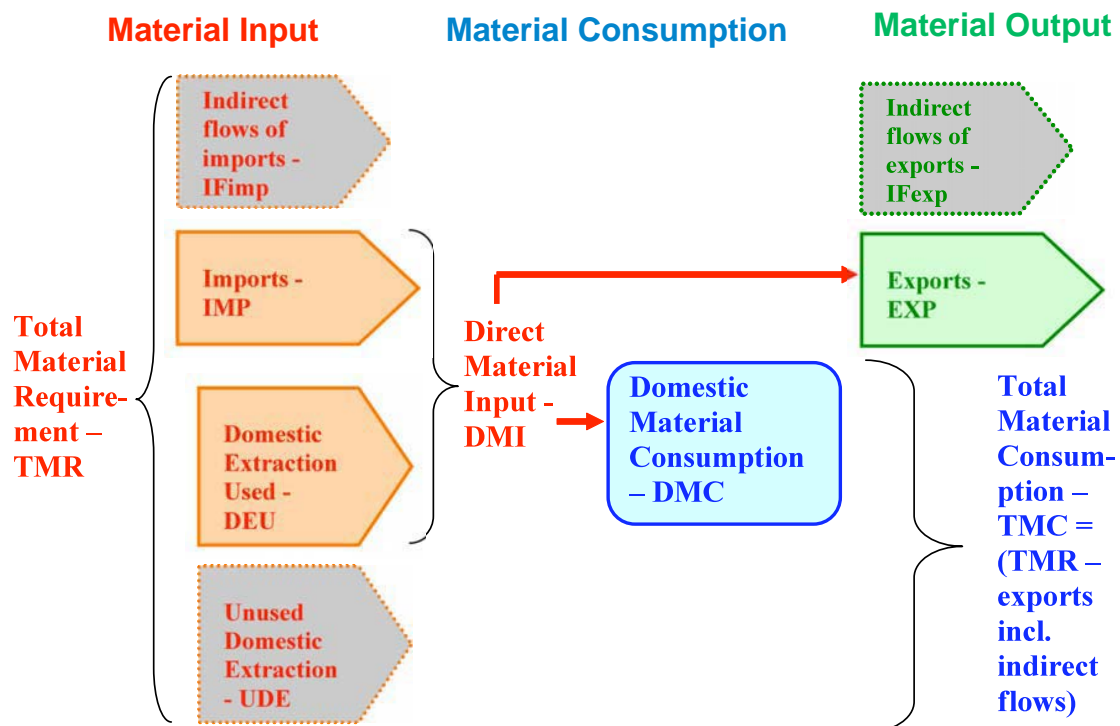
**Dr. Helmut Schütz**  
**Mathieu Saurat**

Material Flows and  
Resource  
Management  
Wuppertal Institute

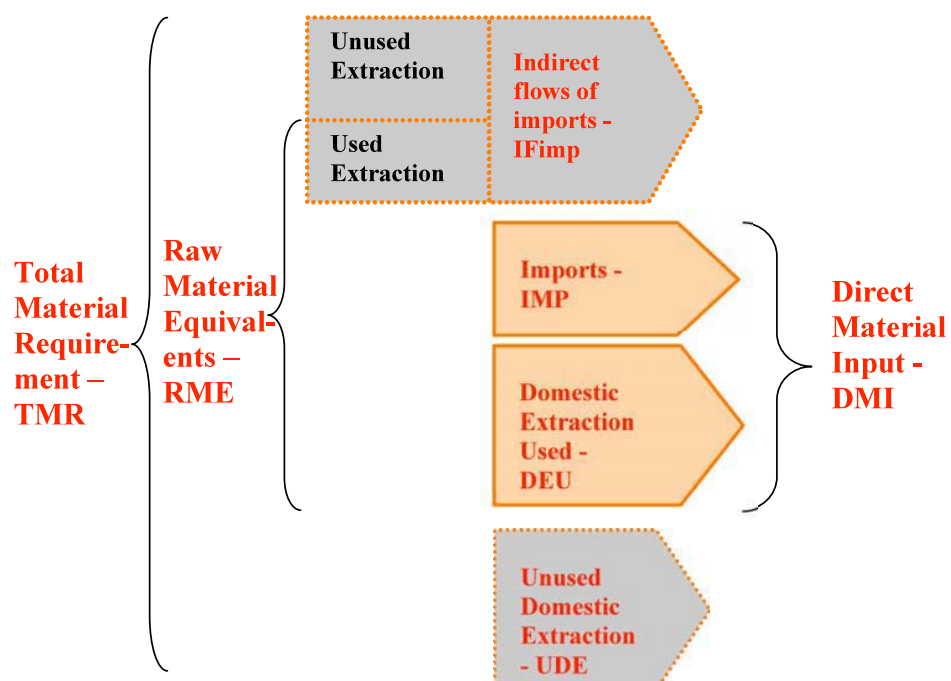
### **The presentation**

- **Definition, Objectives, Foundations**
- **Practical application**
- **Some old and some new results**
- **Policy relevance**
- **Development requirements and perspectives**

# Material flows and derived indicators



## Material Input Indicators



## Definitions, Objectives, Foundations

	DMI	DMC	TMR	TMC
<b>Definition</b>	direct input for use	material directly used for own consumption	total 'material base' of an economy	total primary material use for domestic consumption
<b>Objectives</b>	determines the amount of subsequent wastes and emissions from manufacturing and households, mainly in the reporting country, partly in the countries receiving the exports produced from DMI.	volume of DMC will be released sooner or later as processed waste or emissions on the territory	The relation of domestic and foreign TMR allows to monitor the shift of resource supply and associated environmental burden between regions	The relation of TMC to the exports and their indirect flows indicates how much of the TMR is associated to domestic consumption vs. being used to produce the exports.
	does not contain unused domestic extraction and indirect resource flows		TMR may be interpreted as indicator of generic environmental pressure which grows with the turnover of primary materials (analogously to primary energy and water)	TMC can be used for international comparisons of per capita global resource consumption of countries.
	does not explicitly indicate specific environmental impacts			
<b>Concept</b>	ew-MFA; socio-industrial metabolism			
<b>Method</b>	Eurostat Guide 2001			
	Eurostat/OECD Implementation Guide		WI / ISTAT / BFS / ONS	WI / SERI / GWS
	Eurostat Task Force			
	SNA compatible			

Helmut Schütz

5

Wuppertal Institute

## Practical application

	DMI	DMC	TMR	TMC
<b>International</b>	Eurostat EU27 data set (plus NO, CH)			
	OECD for member countries			
	NSI eg in AT, CZ, DK, FI, FR, DE, HU, IT, ES, SE, CH, UK		NSI in DK, FI, FR, IT, ES, CH, UK	NSI in DK, FI, FR, IT, ES
	Institutes like WI, IFF		WI / SERI	WI / SERI
<b>National</b>	Destatis annually from 1994 - 2007		WI for Germany 1991-2004	WI for Germany 1991-2004
<b>Effort for compilation</b>	best case 3 to 4 PM first compilation		best case 5 to 6 PM first compilation; specific IF study may add up to 6 to 12 months	
	1 to 2 PM for update		3 to 4 PM for update	
<b>Data availability</b>	Eurostat NewCronos and OECD for free; low degree of detail			
	Destatis for free, medium degree of detail		NSI for free, low to medium degree of detail	
	Own compilation from international data sources requires skills for eg standardisation and plausibility checks for biomass and construction minerals		requires specific data depending on chosen method (eg statistics for unused extraction, coefficients and/or IO for indirect flows)	

Helmut Schütz

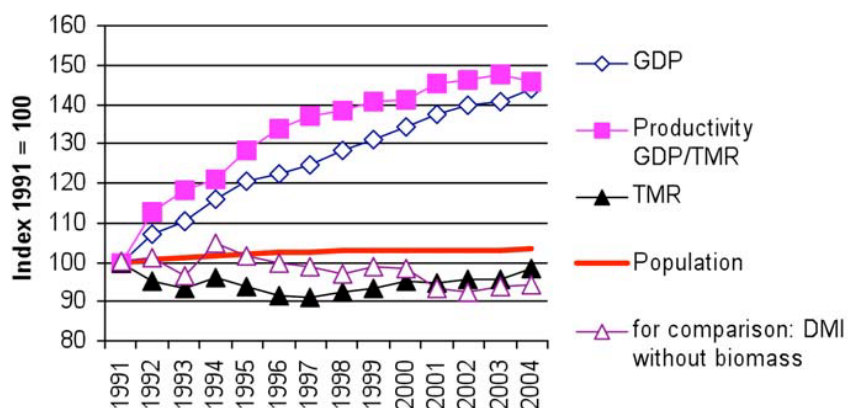
6

Wuppertal Institute

# The presentation

- Definition, Objectives, Foundations
- Practical application
- **Some old and some new results**
- Policy relevance
- Development requirements and perspectives

## Total resource productivity in Germany



Source: Schütz and Bringezu 2008

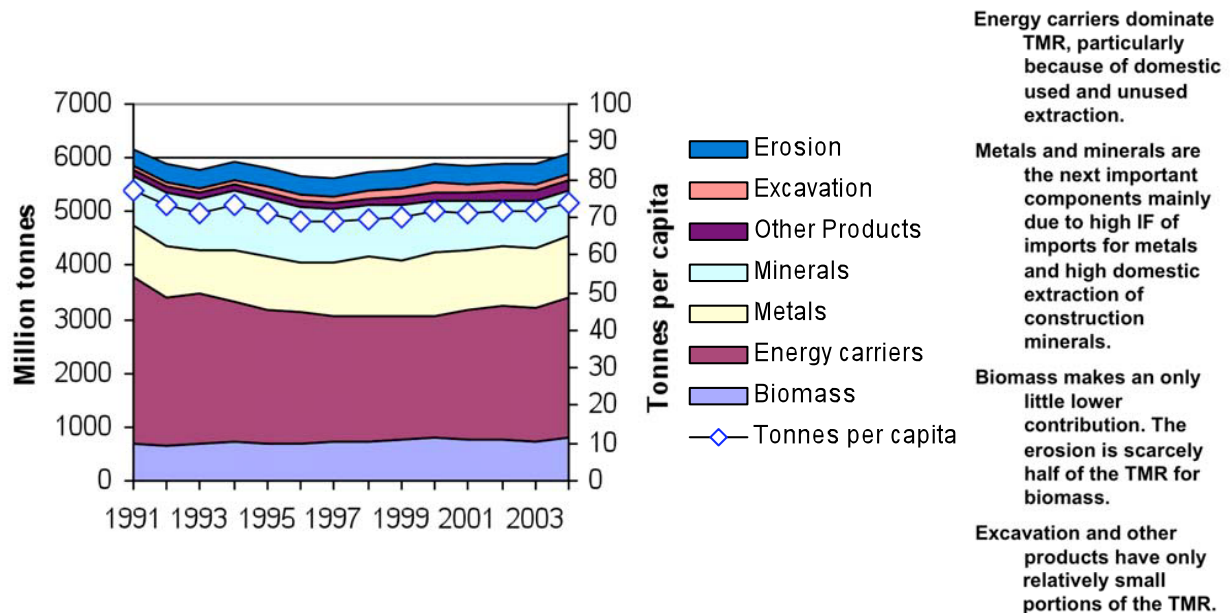
In comparison to GDP, which exhibits continuous rise from 1991 to 2004, TMR showed first a decline from 1991 to 1996 and thus a tendency for absolute decoupling. After 1996 the TMR rose however until 2004.

Over the entire period rather a relative decoupling of the global total material requirement from economic growth took place.

The productivity of the TMR amounted in 2004 to approx. 0.36 Euro per kg, which was only approx. 28% of the DMI productivity. The relative rises of both productivities during the entire period were however similar with 46% increase from 1991 to 2004.

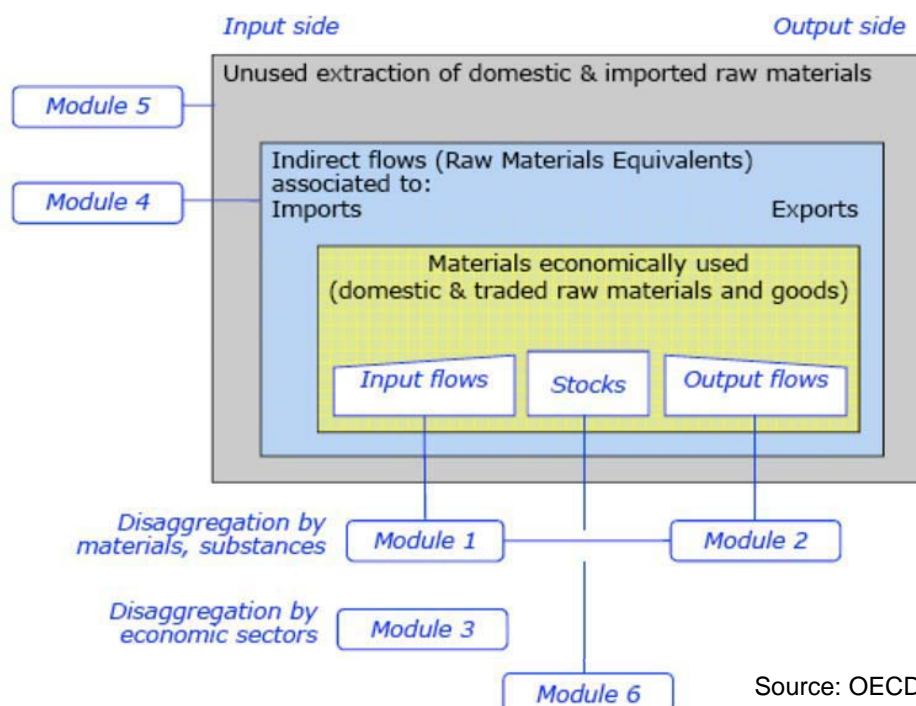
The raw material indicator (DMI – biomass) shows no decline over the early 1990s but goes down to similar level as TMR during 2001-2004 vs 1991.

# Total Material Requirement (TMR) of the German economy



Source: Schütz and Bringezu 2008

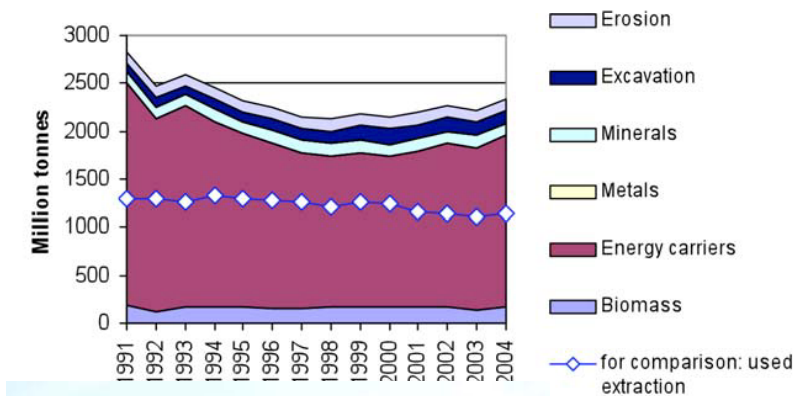
**TMR comprises all flows of the input side – with Indirect flows of imports comprising RME plus foreign Unused Extraction as an aggregate**



Source: OECD 2008



## Unused extraction within Germany



The unused domestic extraction (UDE) is roughly 2 times that of used extraction in Germany - and determined to a large extent by the extraction of energy carriers. Among them dominates the overburden of brown coal production, being responsible alone for 80% to 75% of total UDE.

From 1991 to 1998, the extraction of unused primary materials from the environment declined. However a slight rise was to be registered from 1998 to 2004.

The ratio of unused extraction to used extraction of energy carriers increased over 1991 to 2004 indicating increasing inefficiency of the raw material extraction of fossil energy carriers, above all that of brown coal.

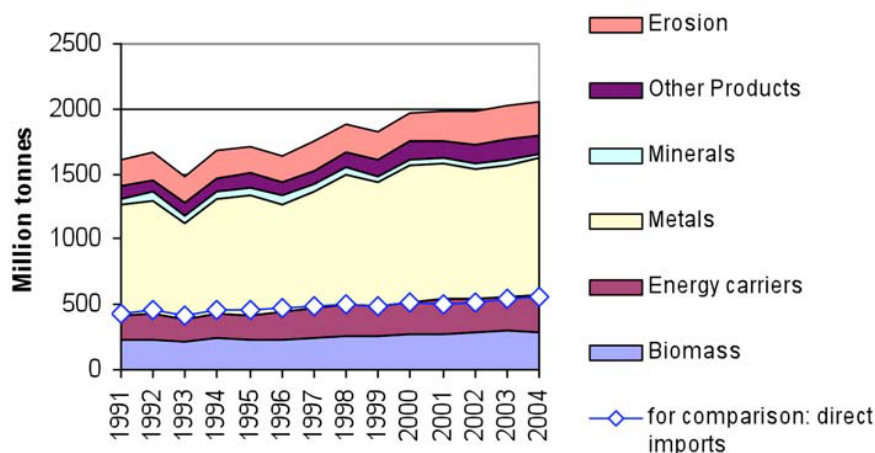
Source: Schütz and Bringezu 2008

Helmut Schütz

11

Wuppertal Institute

## Indirect resource flows of German imports



Indirect resource flows of imports make up almost four times the amount of direct imports.

Differently than with the direct imported goods, with which energy carriers dominated, the indirect flow of materials is predominantly due to metals of different kinds and manufacturing depths (above all iron ores, iron and steel, copper ores and - concentrates, tin, aluminium and machinery).

This is above all because of the fact that metallic goods (with exception of iron ores and bauxite) are traded mostly in highly concentrated respectively finished state, so that large quantities of extraction-, concentration- and processing-wastes remain in the country of origin, and thus contribute to the indirect flow of metals.

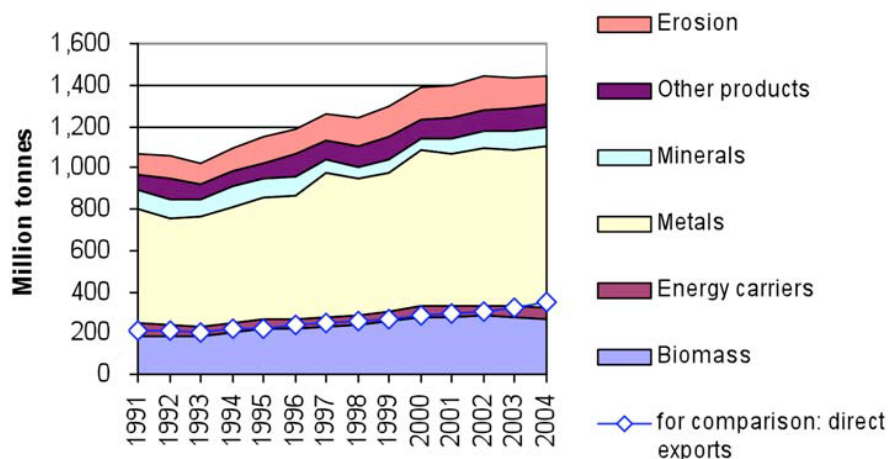
Source: Schütz and Bringezu 2008

Helmut Schütz

12

Wuppertal Institute

## Indirect resource flows of German exports



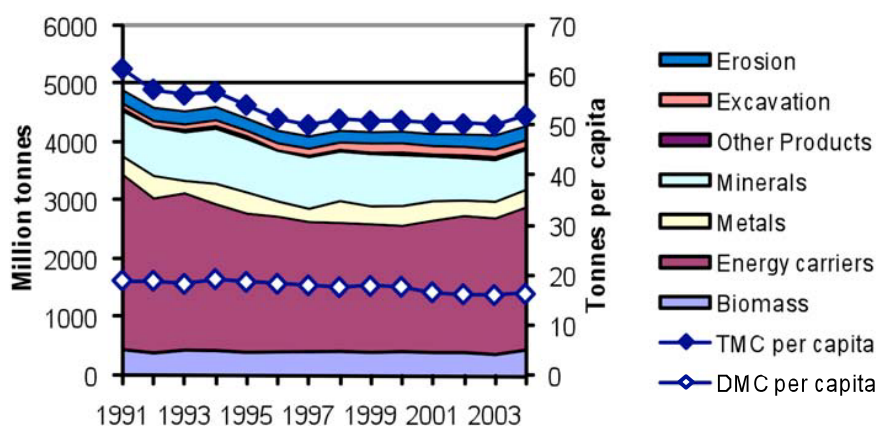
Indirect resource flows of exports make up four to five times the amount of direct exports.

Differently than with the direct exports, but as with the indirect flow of material of imported goods, the flow of indirect material caused by exported metals of different kinds and manufacturing depths dominate the total indirect flows of exported goods (above all iron and steel, copper metal goods and machinery).

This was above all because of the fact that increasingly metallic goods of higher manufacturing depth went into the export, so that an increasing portion of the rising imports of metallic goods was not intended for domestic consumption, but for the consumption of the rest of the world

Source: Schütz and Bringezu 2008

## Total Material Consumption (TMC) of the German economy



With the TMC, as particularly with the TMR, energy carriers dominate because of the high domestic extraction, which is intended for domestic consumption predominantly (above all brown coal for the generation of electricity, with used and unused extractions).

Also mineral materials have a relatively high portion of the TMC, particularly because of their main use as building materials.

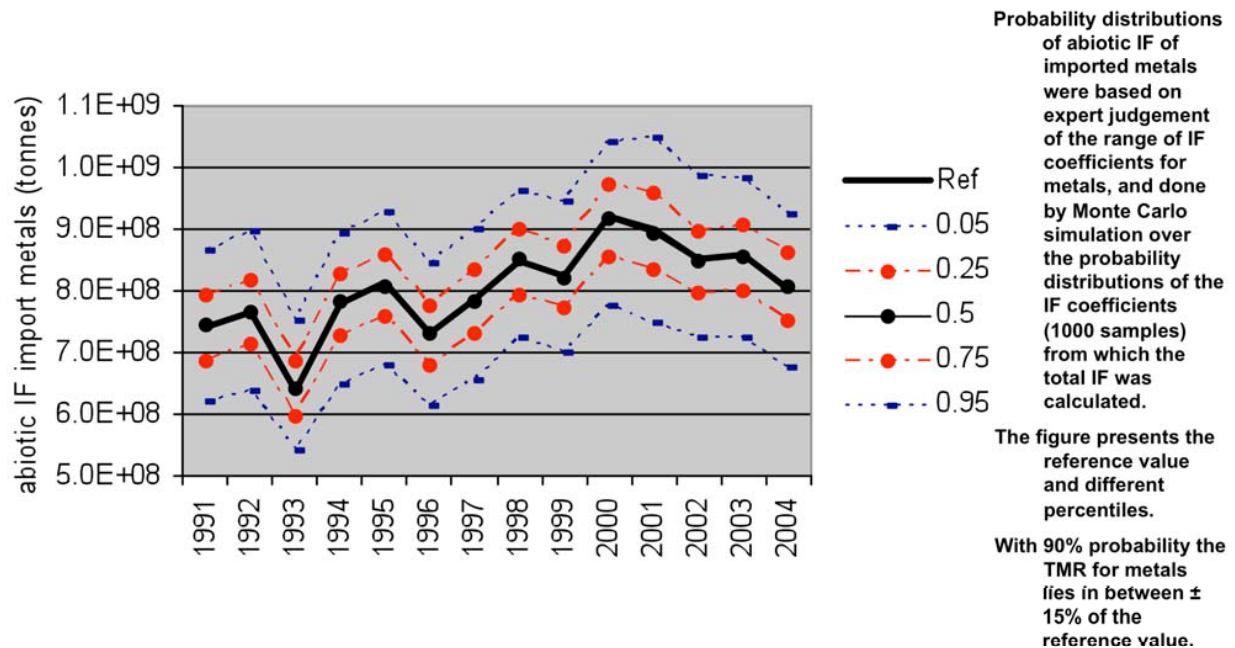
In comparison to the TMR, metals have a relatively small portion of the TMC. This is because of the high „throughput“ of metals by the foreign trade.

Per capita, the TMC of 61 tons in 1991 declined to 52 tons in 2004. It was in 2004 around 3 times higher than the DMC.

The direct materials consumption indicates therefore only a smaller part of the entire materials consumption by the German economy.

Source: Schütz and Bringezu 2008

## Sensitivity analysis for IF of imported metals to Germany 1991 - 2004

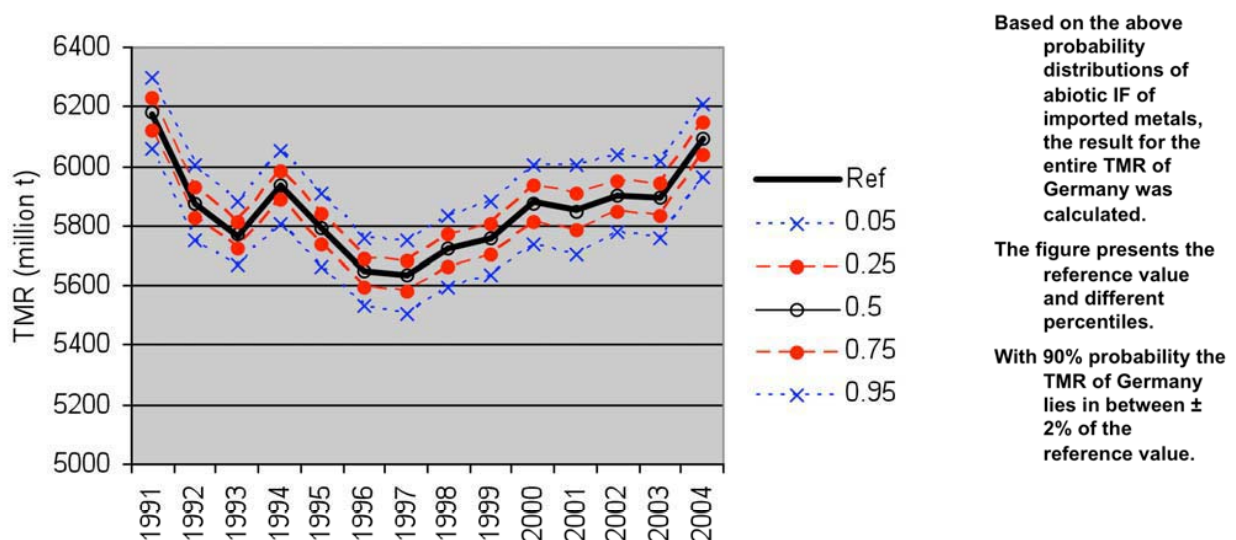


Helmut Schütz

15

Wuppertal Institute

## Sensitivity analysis for TMR of Germany 1991 – 2004



Source: Saurat, M., Schütz, H., Bringezu, S. (WI)

Helmut Schütz

16

Wuppertal Institute

## Policy relevance

	DMI	DMC	TMR	TMC
<b>Measure</b>	GDP/DMI can measure (direct) material productivity (OECD 2008)	GDP/DMC is used to express "resource productivity" (eg Eurostat 2009)	GDP/TMR measures total resource productivity of a country (OECD 2008).	GDP/TMC is proposed to express "resource productivity" (eg Eurostat 2009)
<b>Rationale</b>	DMI includes exports which contribute significantly to GDP	DMC taken as counterpart to GDP	TMR represents the most comprehensive resource use indicator for the physical basis of an economy that generates its wealth (GDP) from global resources, while providing goods and services for domestic final consumption and exports.	TMC taken as counterpart to GDP
<b>Policy use</b>	Japanese government Fundamental Plan for Establishing a Sound Material-Cycle Society	EC headline indicator for "resource productivity" expressed as GDP/DMC	TMR target in Environmental Action Plan for sustainable development in Italy ; Monitoring indicator Japan	TMC has been proposed by EC to replace DMC as denominator (GDP/TMC) for the headline indicator "Resource productivity"

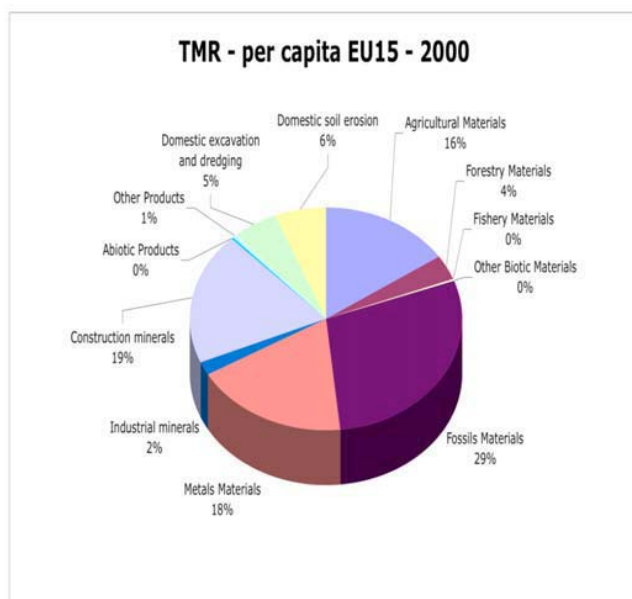
Helmut Schütz

17

Wuppertal Institute

## TMR allows to set priorities for resource productivity enhancement in industry

### Components of TMR EU-15



	Economic Branches
1	<b>Construction</b>
2	Food products and beverages
3	<b>Basic Metals and fabricated metal products</b>
4	Electricity, gas, steam, hot water supply
5	<b>Motor vehicles, trailers and semi- trailers</b>
6	Chemicals and chemical products
7	Machinery and equipment
8	Coal and lignite, peat
9	Agriculture, hunting
10	Coke, refined petroleum products, nuclear fuel

**Results of IO-analysis: direct and indirect TMR of products delivered to final demand.**

Helmut Schütz

18

Wuppertal Institute



# Development requirements and perspectives

	DMI	DMC	TMR	TMC
<b>Development Requirements</b>	Full harmonisation of methodology and data with SNA/SEEA		full harmonisation of methodology and the provision of reference data across countries	
	Fully standardised data acquisition across countries		NSI are expected to account for domestic unused extraction after having established DMI/DMC, also to provide sufficient information on waste flows.	
<b>Perspectives</b>	Combined efforts undertaken by Eurostat, OECD, UN and experts		For the consideration of indirect flows of imports, to reach a similar level of accuracy like in Germany, NSI would need assistance in the form of a data base with coefficients for internationally traded products	A future best available method will thus likely combine the coefficient approach for a selected number of raw materials and semi-manufactured products with an IO approach for higher-manufactured products (where the IO approach should apply a multi-regional IO-MFA model)



**Many thanks for your attention !**

**[helmut.schuetz@wupperinst.org](mailto:helmut.schuetz@wupperinst.org)**

# DMI and DMC of Germany calculated as Raw Material Equivalents

**Šárka Buyny**

**Workshop Material Use Indicators for Measuring Resource  
Productivity and Environmental Impacts  
Berlin, 25. - 26. 2. 2010**

© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

- **What? Why? and How?**
- **Results**
- **Evaluation and improvement potential**

- **What? Why? and How?**
- **Results**
- **Evaluation and improvement potential**

© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

## **Raw material equivalents**

### ■ **WHAT?**

Used extraction which was needed to produce the traded goods

© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

# Raw material equivalents

## ■ WHY?

Improvement of the indicator  
“raw material productivity”

© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

# Raw material productivity

## GDP / DMI

© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010



# Raw material productivity \*

$$\text{GDP} / \text{DMI}_{\text{abiotic}}$$

How many units of gross domestic product (in €) are produced by one unit of abiotic primary material (in tons)

\* According to National Strategy for Sustainable Development

© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

# Raw material productivity

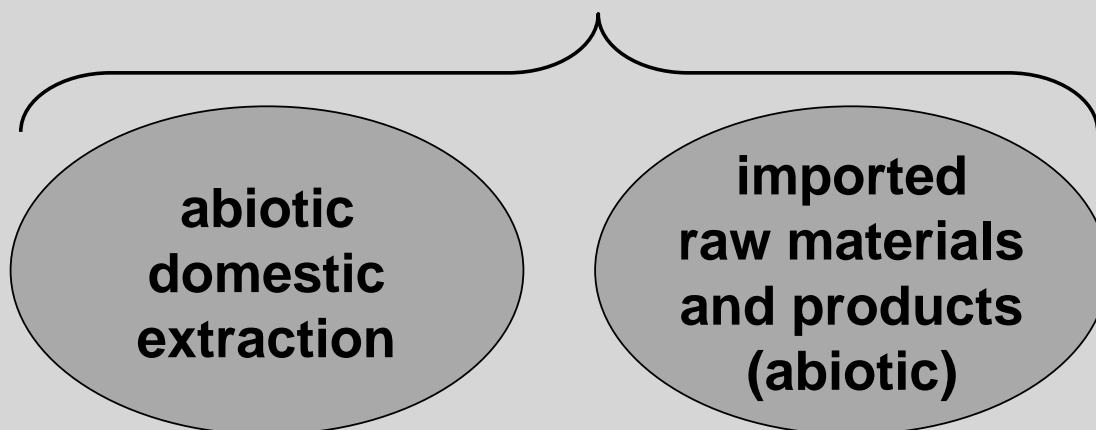
■ HOW?

**abiotic  
domestic  
extraction**

© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

# Raw material productivity

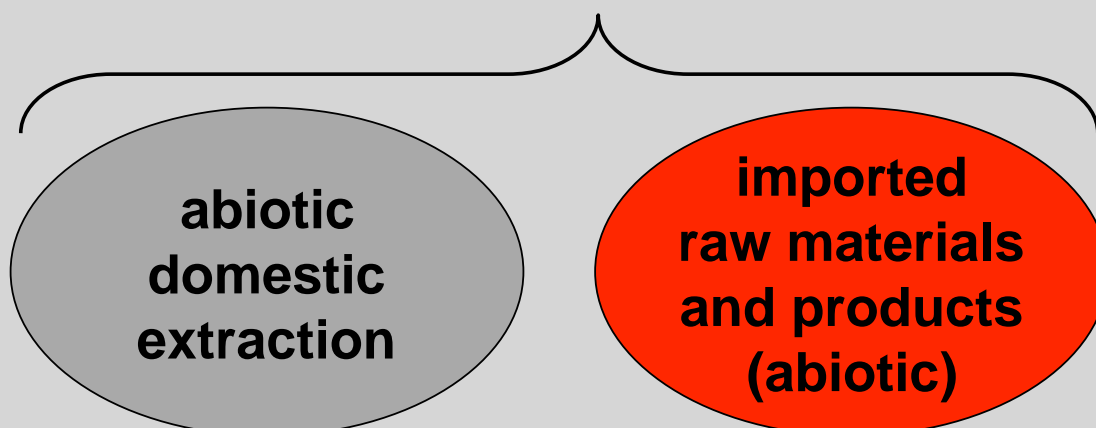
## ■ DMla



© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

# Raw material productivity

## ■ DMla



© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

# Raw material equivalents

## ■ WHY?

Improvement of the indicator  
“raw material productivity”

© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

# Raw material equivalents

## ■ WHY?

Improvement of the indicator  
“raw material productivity”

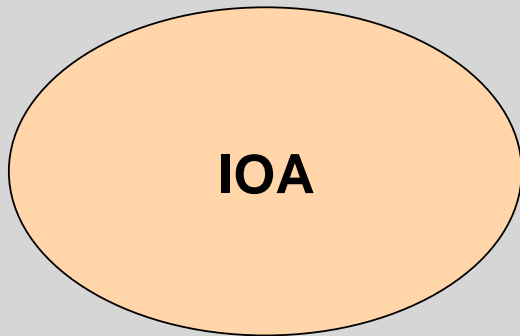
## ■ HOW?

Combination of input-output-analysis  
and life-cycle-analysis

© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

# Raw material equivalents

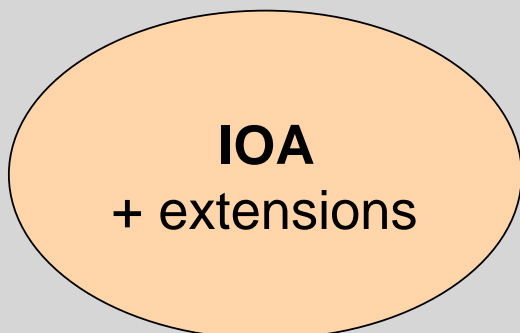
## ■ HOW?



© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

# Raw material equivalents

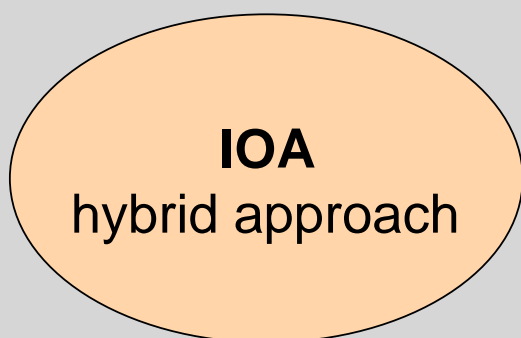
## ■ HOW?



© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

# Raw material equivalents

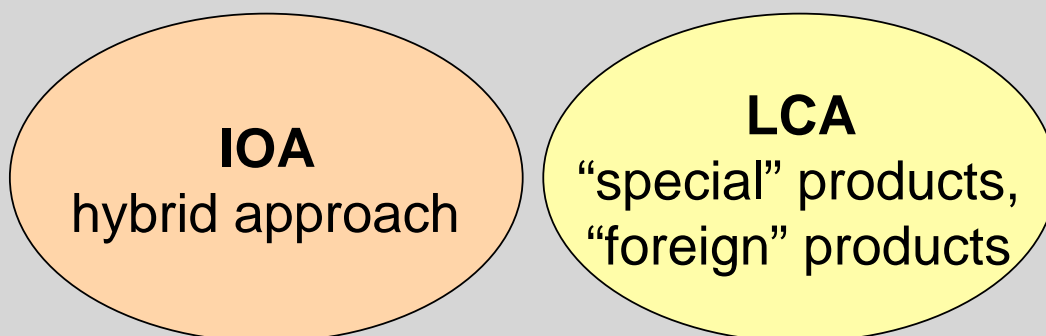
## ■ HOW?



© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

# Raw material equivalents

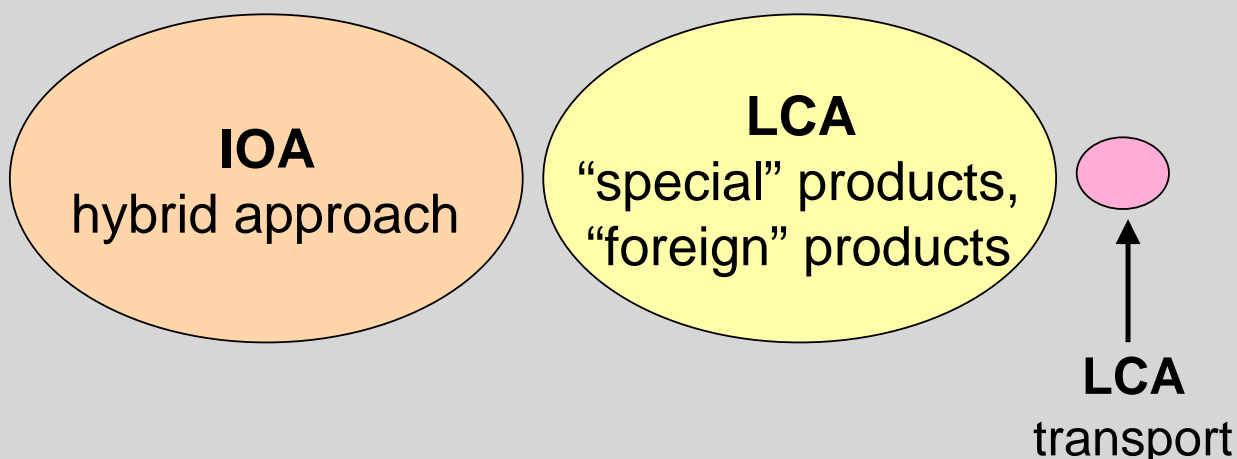
## ■ HOW?



© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

# Raw material equivalents

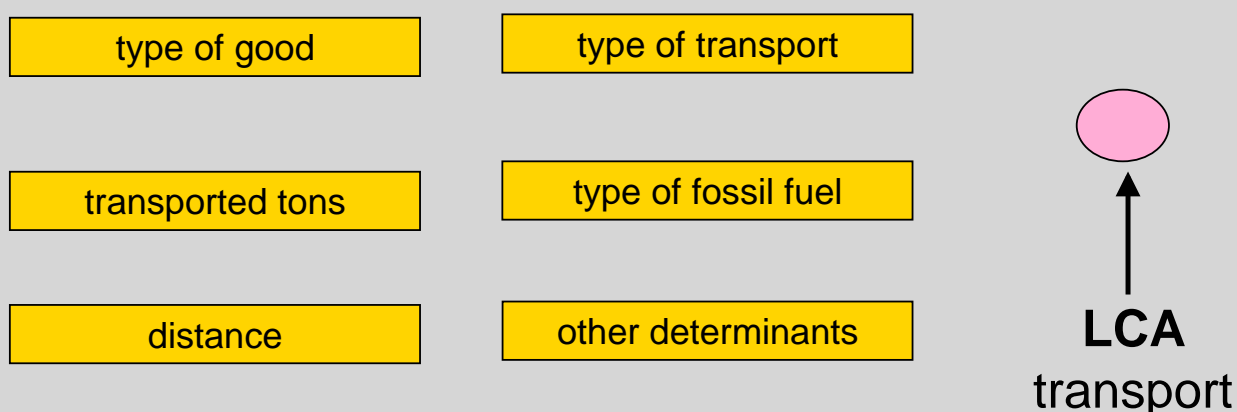
## ■ HOW?



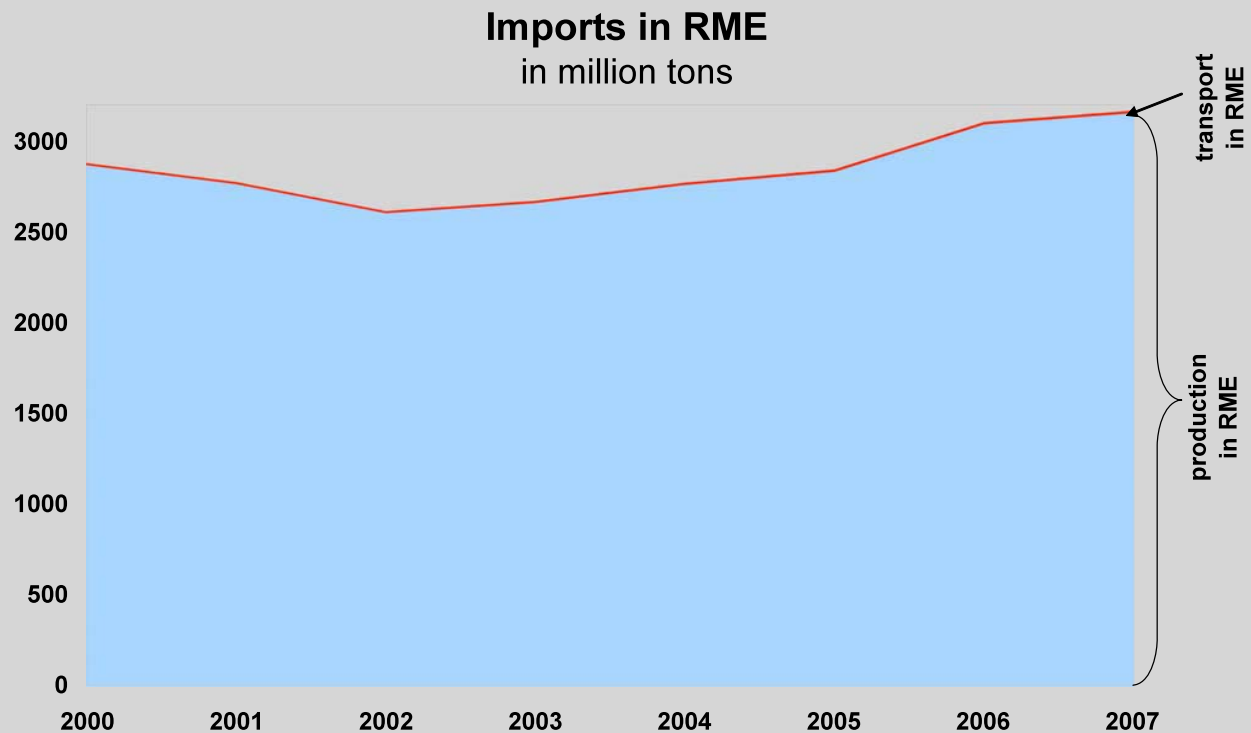
© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

# Raw material equivalents

## ■ HOW?



© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

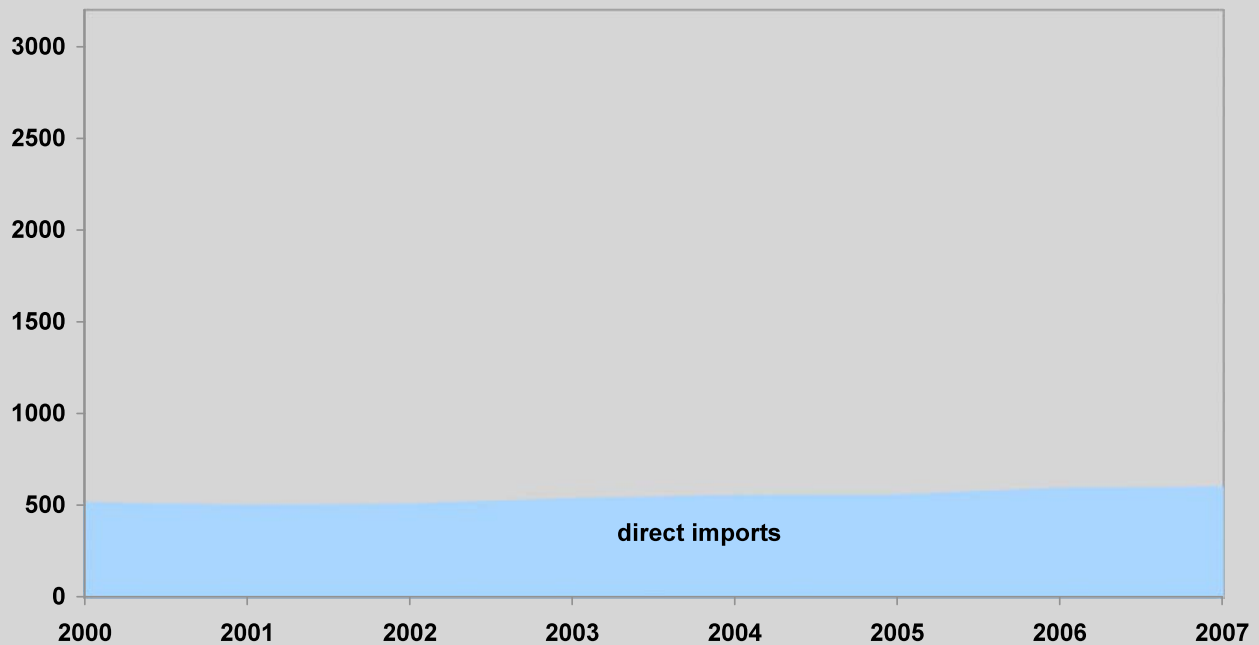


© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

- **What? Why? and How?**
- **Results**
- **Evaluation and improvement potential**

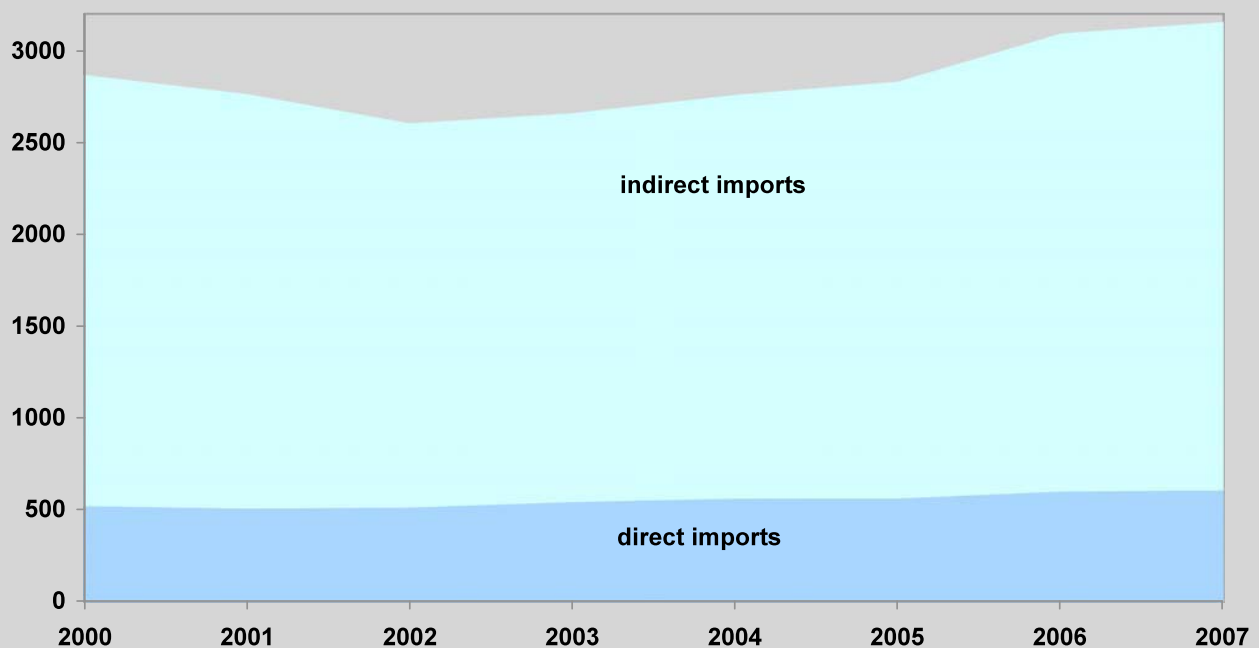
© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

# **Imports** in RME in million tons



© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

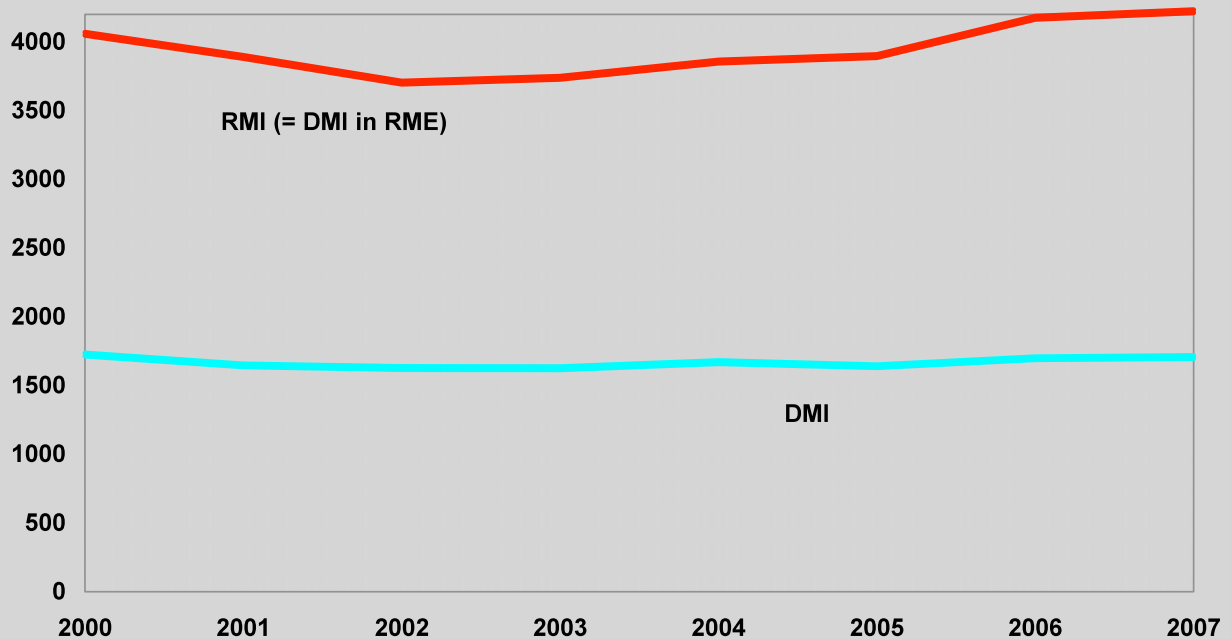
# **Imports in RME** in million tons



© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

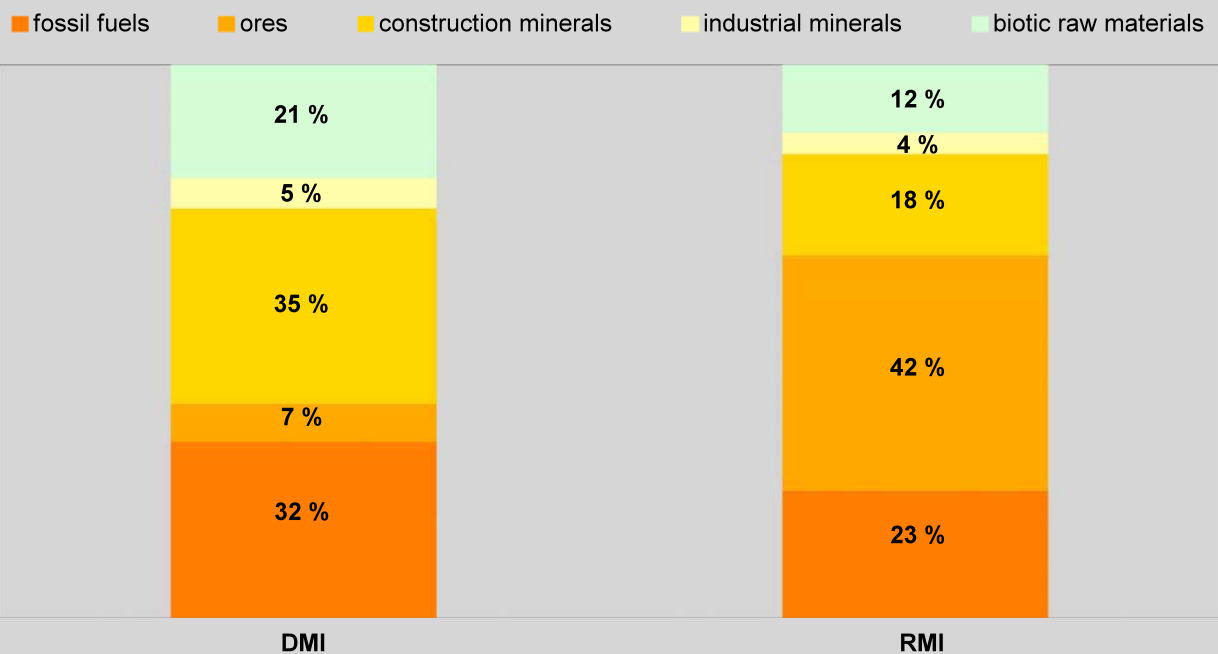


### RMI vs. DMI in million tons



© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

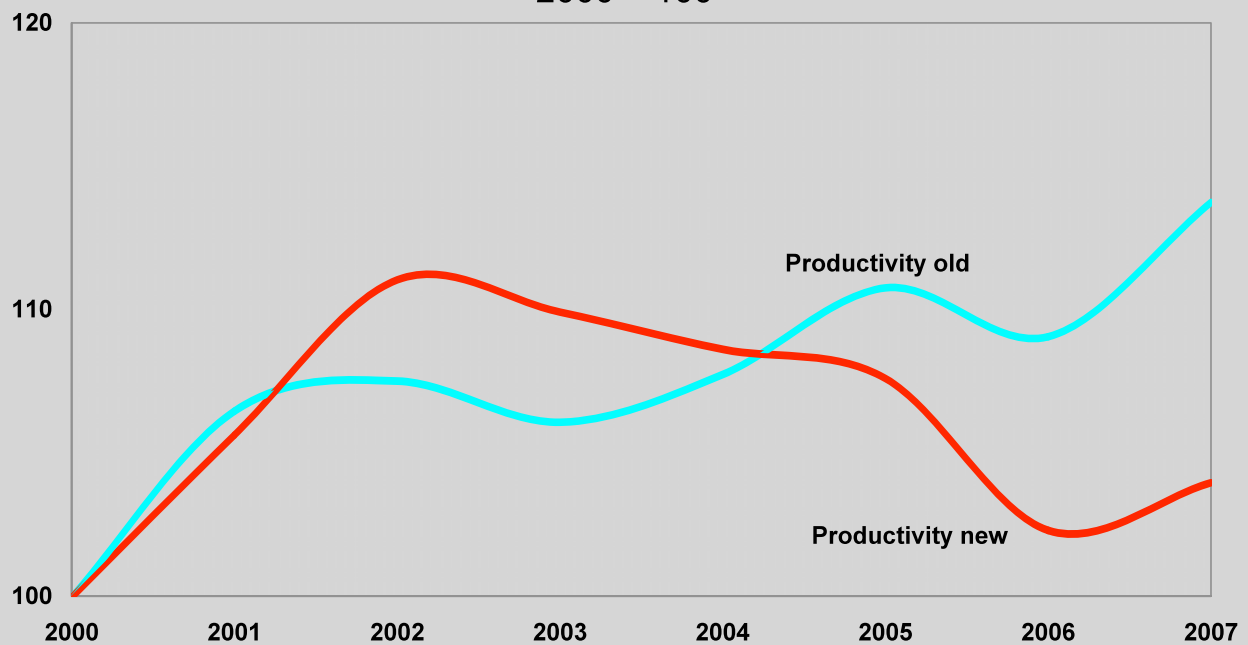
### DMI and RMI - by raw material groups 2005, in %



© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

**Raw material productivity (based on  $DMI_{abiotic}$ )**

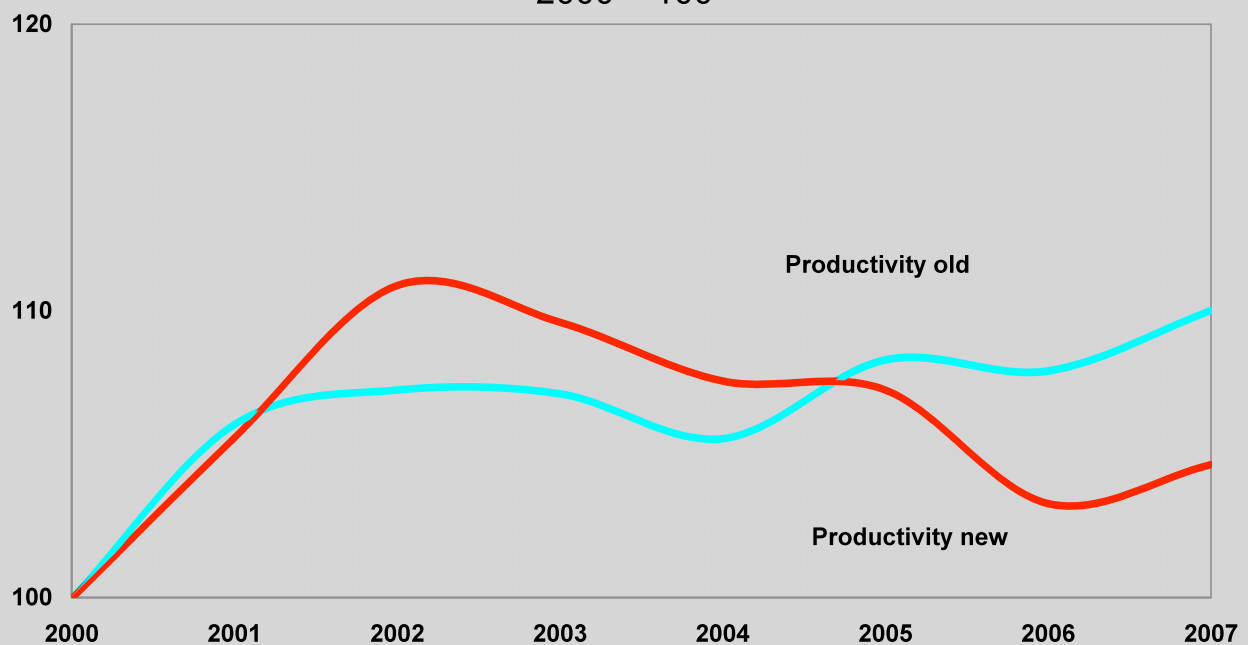
2000 = 100



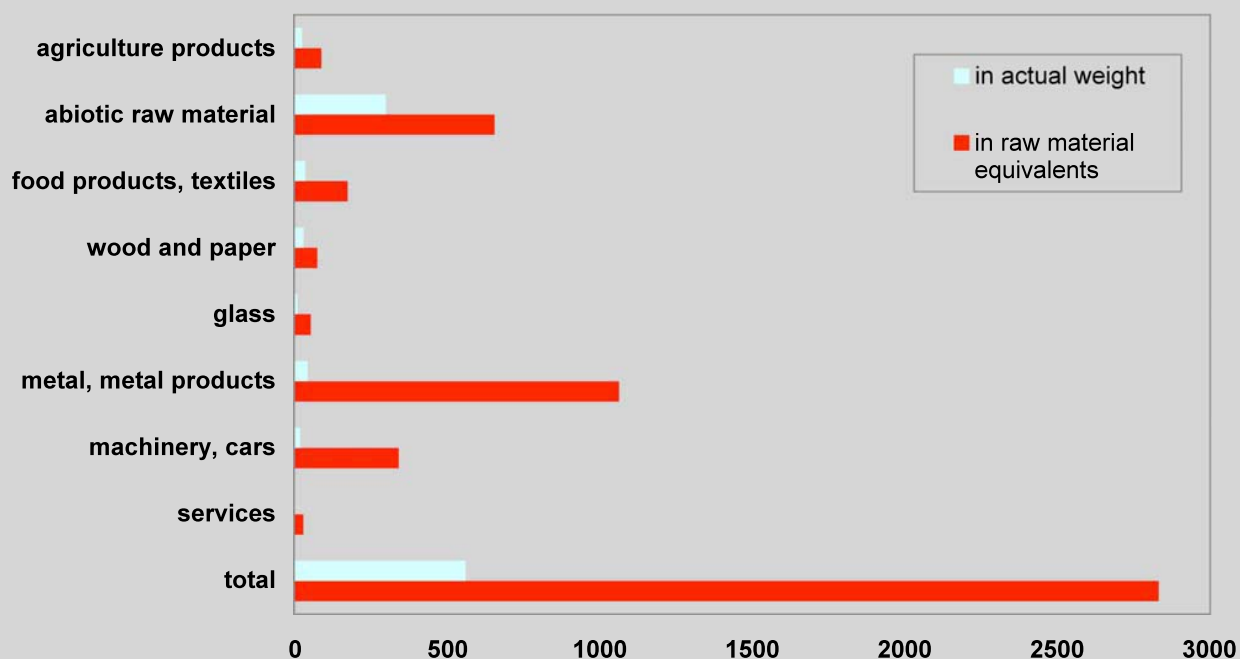
© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

**Raw material productivity (based on  $DMI_{abiotic+biotic}$ )**

2000 = 100



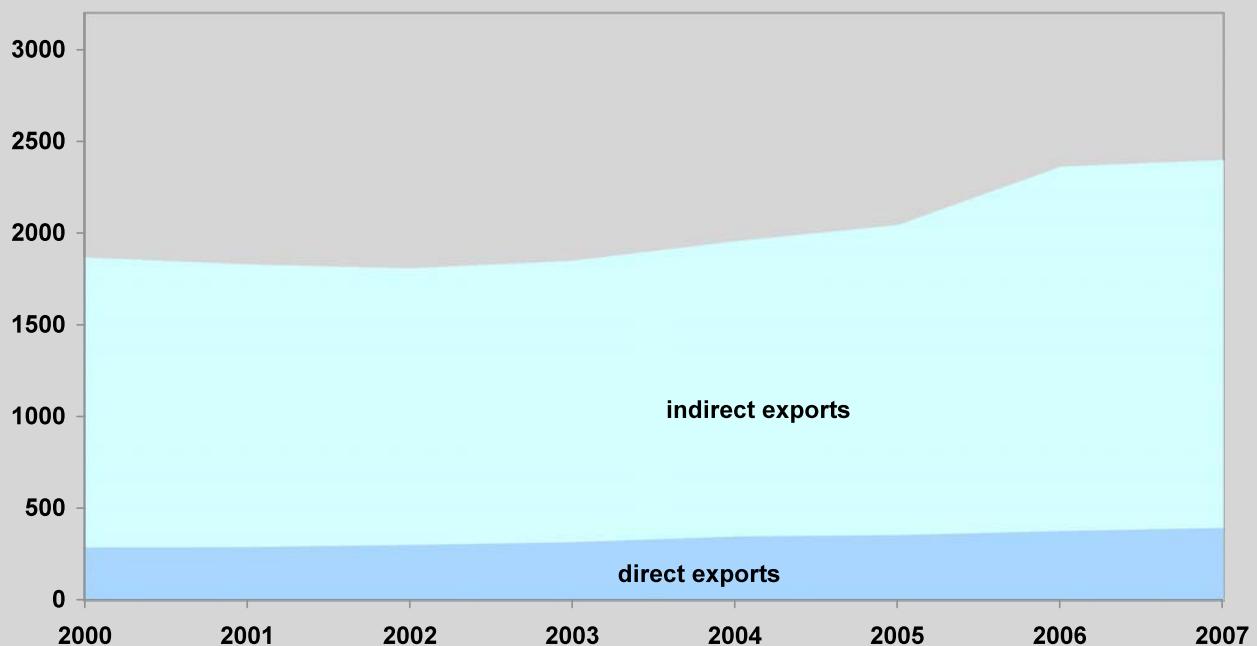
© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

**Imports - by product groups**  
2005, in million tons

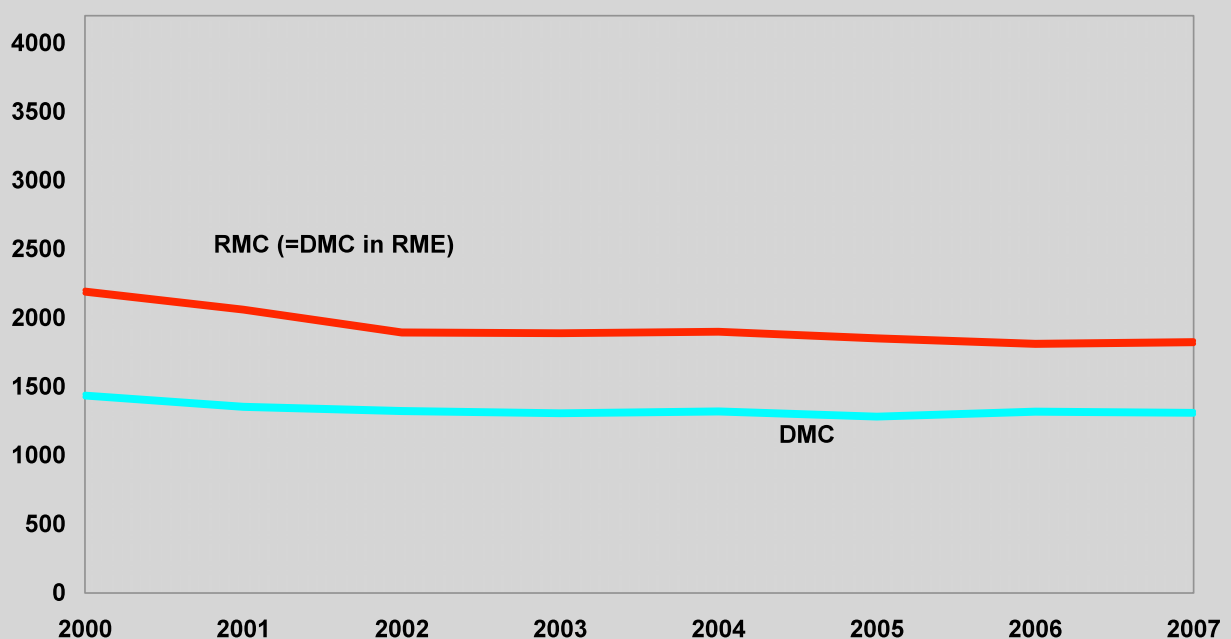
© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

**Exports** in RME  
in million tons

© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

**Exports in RME**  
in million tons

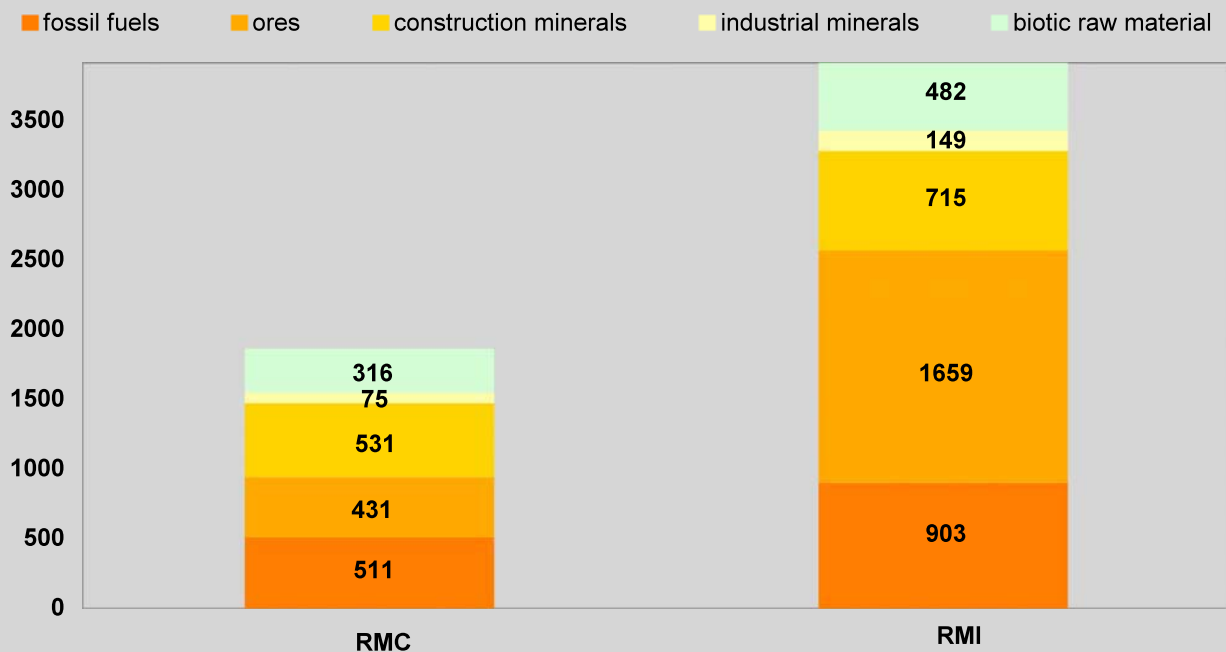
© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

**RMC vs. DMC**  
in million tons

© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

### RMC and RMI - by raw material groups

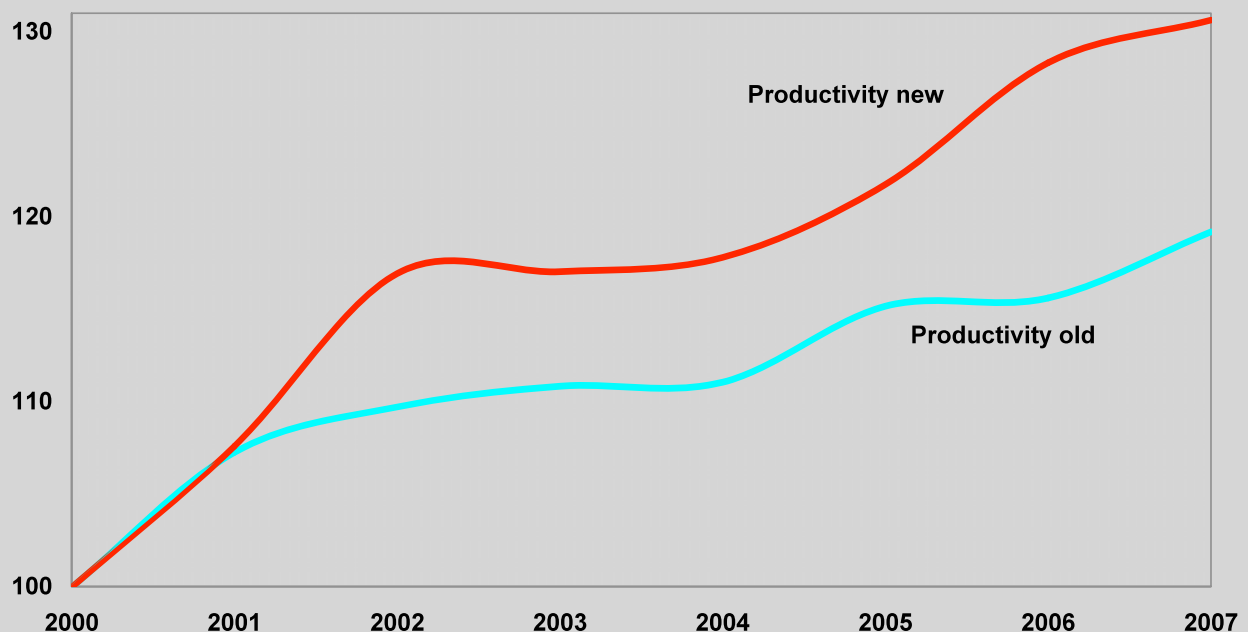
2005, in million tons



© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

### Raw material productivity (based on DMC)

2000 = 100



© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

- **What? Why? and How?**
- **Results**
- **Evaluation and improvement potential**

© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

## **Evaluation and improvement potentials (1)**

- Hybrid approach
- **German** input-output-tables
- Consideration of the production conditions in import countries (energy mix, import coefficients)
- Constant import coefficients for the whole time series
- Quality of import coefficients
- Aggregation problem of some raw material groups

© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

## Evaluation and improvement potentials (2)

- Capital formation
- Waste and scrap (metal and wood)
- Recycling of glass and plastic: not included

© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

Thank you for your attention.

[Sarka.Buyny@destatis.de](mailto:Sarka.Buyny@destatis.de)

© Federal Statistical Office Germany, Environmental-Economic Accounting 2010

# **Accounting for Environmental Impacts of Resource Use**

## **Outline of a challenge and recent approaches**

Presentation  
Workshop "Material Use  
Indicators for Measuring  
Resource Productivity and  
Environmental Impacts"  
26 Feb 2010  
Berlin

**Dr. Stefan Bringezu**

Member of the International  
Panel for Sustainable Resource  
Management

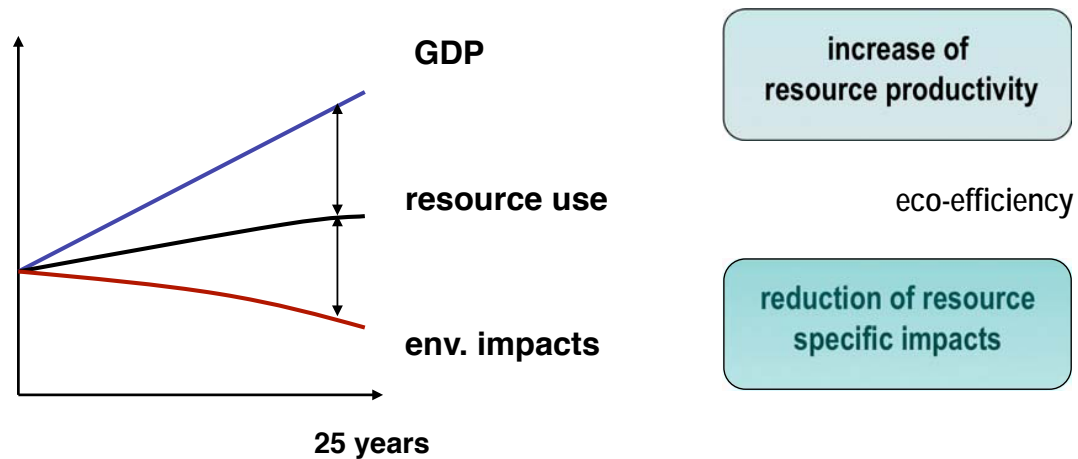
Director  
Material Flows and Resource  
Management  
Wuppertal Institute

### **The presentation**

- **The goal of double de-coupling**
- **Basic challenges of impact assessment**
  - **System definition**
  - **Characterisation and quantification of impacts**
  - **Normalization and weighting of single impacts**
  - **Weighting between different impacts**
- **Conclusions**



# Objectives of the EU resource strategy



- ⇒ How to effectively decouple resource use from economic growth?
- ⇒ Is it possible to decouple environmental impacts from resource use (at macro level)?

## Observations

- Materials and products are associated with **different environmental profiles** which add up to the overall performance of the economy in a way that strengths and weaknesses across production lines **often compensate** each other
- **Substitution** of one material for another also leads to the **exchange of the related bundles** of specific pressures
- **Shifts between** different environmental **impacts** may not be easy to evaluate (GHG vs. waste or vs. eutrophication)
- Shifts **towards impacts which cannot be measured** sufficiently will be neglected (-> problem shifting ?!)

## Basic challenges

- **Systems definition** and the inventory of the materials and resources
- **Characterization and quantification** of specific environmental impacts
- **Normalization** of each impact to compare it with other impacts
- Relative **weighting of different impacts** against each other

## System definition

- **"life-cycle-wide": cycle of what?**
- **interlinked flows of resources, materials or products along extraction-production-consumption-recycling-disposal**
- **3 basic approaches:**
  - Selection of materials or/and products (bottom-up LCA)
  - comprehensive product group approach (top-down Input-Output)
  - hybrid (IOA + LCAI and macro + LCAI)

## System definition

### Selection of materials or products (bottom-up LCA)

- **Selection requires priority setting**
  - e.g. particularly critical base materials,
  - e.g. product groups of environmental relevance
- **Specification determines results**
  - e.g. "cereals" vs. "wheat, maize, sugar cane..."
  - e.g. "PGM" vs. "PGM from South Africa, Russia, ..."
  - e.g. "cars" vs. "Golf A4, Mercedes S, ..."

## System definition

### Input-output approaches – comprehensive product groups

- **Total economy covered, but so far only limited number of broad product groups and limited availability of impact data**
- **Import related impacts often calculated based on assumption of domestic technologies**
- **NAMEA: available<sup>1</sup> for EU8/9, EU-25 (ETC-SCP, Eurostat)**  
60 sectors, GWP, ACID, TOFP, DMI, TMR<sup>2</sup>
  - <sup>1</sup> until end of 2010
  - <sup>2</sup> pilot country(ies)
- **EXIOPOL: under development in FP6**  
129 sectors, EU-27countries+16countries+RoW  
energy, material, land use, emissions as far as available  
would allow comprehensive analyses when completed

## System definition

### Hybrid approaches

- For single pressure indicators such as TMR (similar to material use indicator RME by Destatis): combination of LCAI and IOA can be used to account for import related flows
- New project: Macro LCA indicators (PE-International and WI for JRC-Ispra)
  - impacts of resource use
    - all domestic impacts available (macro) and all import and export LCIA impacts available (micro)
  - impacts of product consumption
  - impacts of waste management

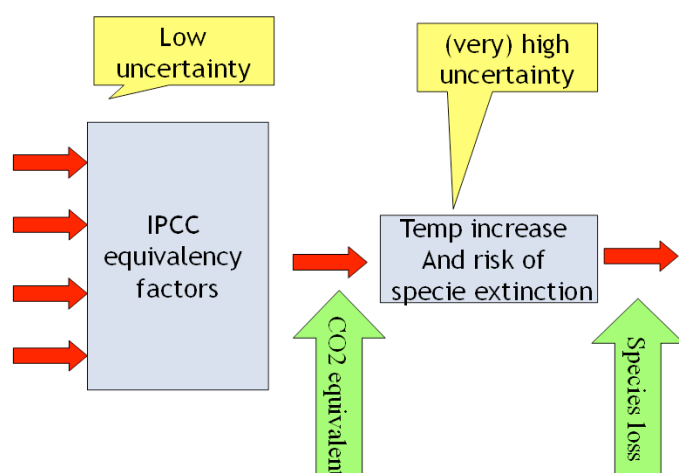
## Characterization and quantification of impacts

### What is an impact and how certain is it ?

- "mid points" (= pressure indicators in DPSIR)  
e.g. GWP, ODP, eutroph. potential, acidif. pot. etc

- "end points"  
e.g.
  - Species loss
  - Deaths
  - Resource depletion

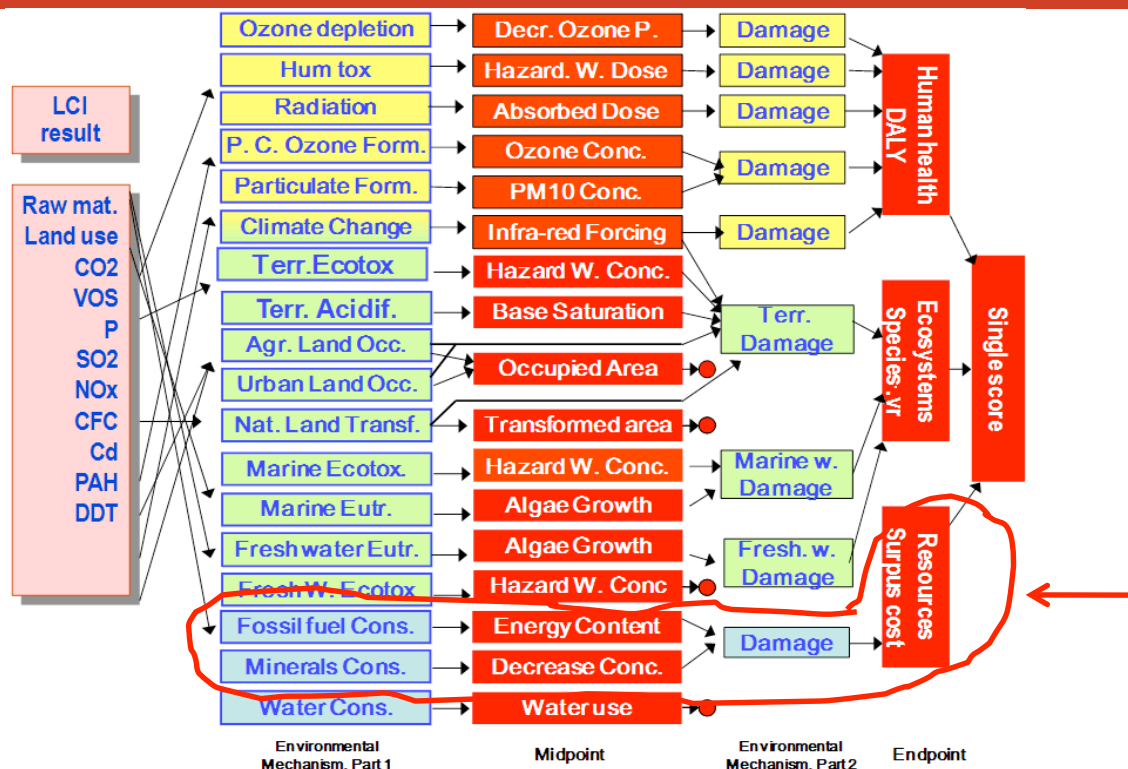
➤ midpoint indicators have higher certainty



Source: <http://www.lcia-recipe.net/>

# Characterization and quantification of impacts

## The example of ReCiPe (EcoIndicator 99)



February 2010

Stefan Bringezu

Source: <http://www.lcia-recipe.net/>

11

Wuppertal Institute

## Example: characterization of Resource Depletion

### "Damage to resources" EcoIndicator 99

- only for minerals (non-bulky) and fossil fuels
- decrease in "quality" of resources for extraction
  - concentration for minerals (metals)
  - effort of extraction for fossil fuels
- measured as "surplus energy" (Müller-Wenk 1998): difference between energy for extraction now and some time in future

Egalitarian (all in MJ per extracted MJ)	conventional energy use (MJ/MJ)	To be replaced by	Extraction energy (MJ/MJ)	surplus energy MJ/MJ
1. Conventional natural gas	0.010	coal shale mix	0.099	0.089
2. Conventional oil, average extraction 1990	0.016	coal shale mix	0.099	0.083
3. Hard coal, open pit mining	0.017	coal shale mix	0.099	0.082
4. Crude oil, secondary extraction	0.023	coal shale mix	0.099	0.076
5. Hard coal, underground mining	0.034	coal shale mix	0.099	0.065
6. Brown coal, open pit mining	0.038	coal shale mix	0.099	0.061
7. Crude oil, tertiary extraction	0.110	crude oil tert. pr.	0.11	0.000
8. Crude oil from oil shale	0.160	oil shale	0.16	0.000
9. Crude oil from tar sand	0.230	tar sand	0.23	0.000

Table 6.2: Surplus energy values (damage factors) for fossil fuels (Egalitarian)

February 2010

Stefan Bringezu

Source: EcoIndicator 99 Annex vers.3  
Goedkoop, M. and Spriensma, R.

12

Wuppertal Institute

## Abiotic resource depletion potential (ADP) (Guinée et al. 2002)

- Element extraction rate per ultimate reserves in relation to antimony
- Energy carriers extraction rate per energy resources

$$ADP_i = \frac{DR_i}{(R_i)^2} \times \frac{(R_{ref})^2}{DR_{ref}} \quad (1)$$

Where

$ADP_i$  = Abiotic Depletion Potential of resource i (dimensionless)

$R_i$  = Ultimate reserve of resource i (kg)

$DR_i$  = Extraction rate of resource i (kg.yr<sup>-1</sup>)

$R_{ref}$  = Ultimate reserve of the reference resource, *viz.* antimony (kg)

$DR_{ref}$  = Extraction rate of the reference resource (kg.yr<sup>-1</sup>)

## Characterization of resource depletion potential varies significantly between methods

Table 6: CML characterisation factors with antimony as the reference mineral

Mineral	Extraction (kg/yr)	Ultimate reserve (kg)	Characterisation factor
Antimony	$6.06 \times 10^7$	$4.63 \times 10^{15}$	1
Platinum	$4.90 \times 10^4$	$1.16 \times 10^{14}$	1.29
Iron	$4.05 \times 10^{11}$	$1.30 \times 10^{21}$	$8.43 \times 10^{-8}$

Reserve values given by Gordon et al. (2006), Yale, for Platinum:  $2.9 \times 10^7$  kg

- Reference values (also for normalisation) critical

Example of car exhaust system produced in South Africa

Mineral	Characterisation results		
	Modified SA procedure (kg platinum eq.)	CML (kg antimony eq.)	Eco-indicator 99 (MJ surplus energy)
Iron (from ore)	0.00565	0	0.916
PGMs (from ore)	0.01945	0.00838	462

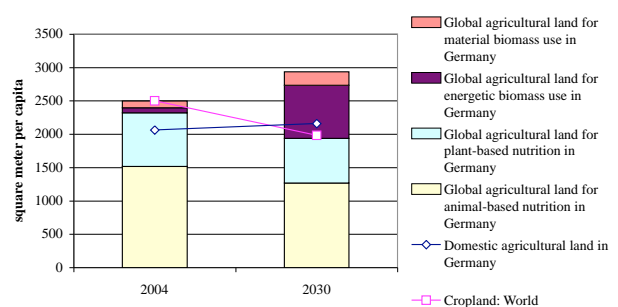
- Depending on the method results may vary over 5 orders of magnitude

With kind permission from Springer Science+Business Media: Int J LCA 11(3), 2006, Characterisation and Normalisation Factors for Life Cycle Impact Assessment Mined Abiotic Resources Categories in South Africa: The manufacturing of catalytic converter exhaust systems as a case study (10 pp), pp. 162-171, Kerwin Strauss, Alan Brent and Sibbele Hietkamp, tab. 5+6

## Characterization and quantification of impacts

### Limitations of the LCA approach and alternatives

- No harmonized LCA methods available e.g. on land use and land cover change, depletion of resource, esp. biotic resources (biodiversity)
- Bottom-up approach to consider land use change (LUC) difficult and highly uncertain – instead
  - Global Land Use Accounting (GLUA), analogously to TMC, covers all land use for domestic consumption
  - quantifies overall LUC
    - > GHG emissions
    - > losses of biodiversity



February 2010

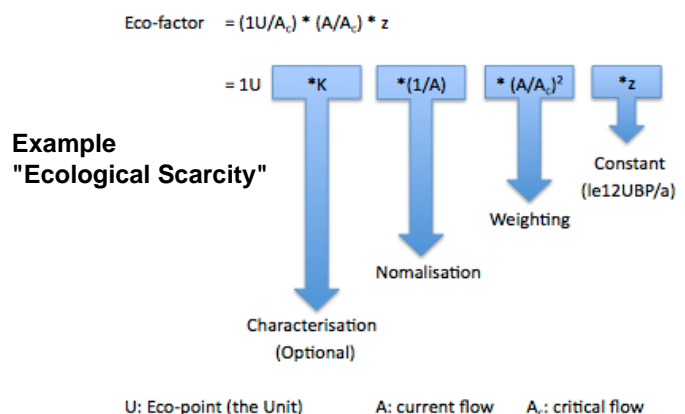
Stefan Bringezu

15

Wuppertal Institute

## Normalization and weighting of single impacts

- Normalization relates the specific impact value to a reference value of the same impact, e.g.
  - national, EU or global overall GWP
  - (-> **specific contribution of a product**)
  - to a policy target (-> **distance-to-target**)
- Resulting value has no unit ("Eco-point") and can be summed up across different impact categories



February 2010

Stefan Bringezu

After Frischknecht et al. 2006

16

Wuppertal Institute



## Normalization of resource depletion potential varies significantly between methods

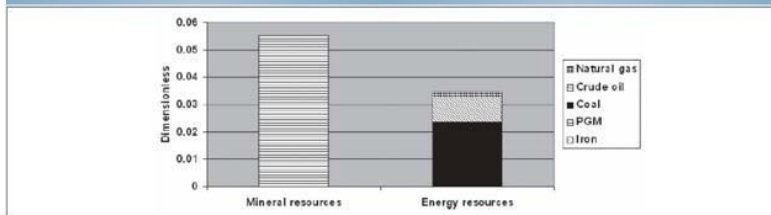


Fig. 5: Normalisation results of the Eco-indicator 99 procedure for the exhaust system life cycle

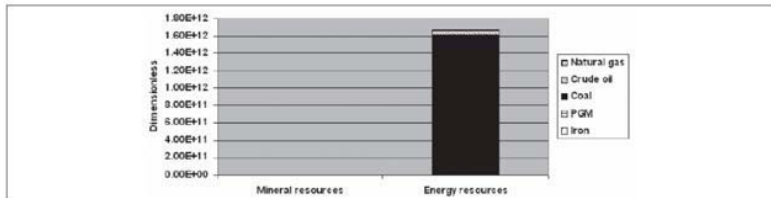


Fig. 6: Normalisation results of the CML procedure for the exhaust system life cycle

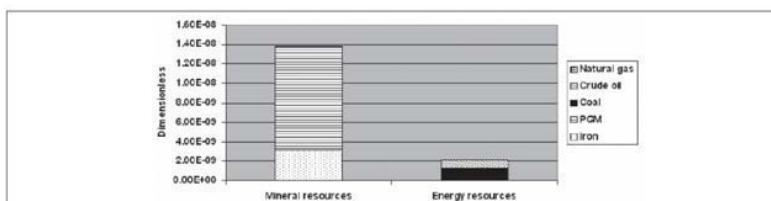


Fig. 7: Normalisation results of the modified South African LCIA procedure for the exhaust system life cycle

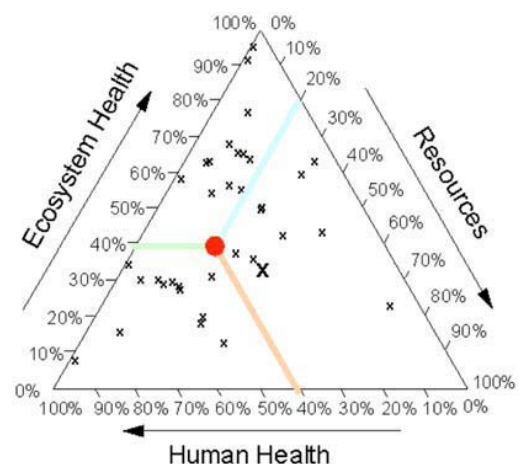
With kind permission from Springer Science+Business Media: Int J LCA 11(3), 2006, Characterisation and Normalisation Factors for Life Cycle Impact Assessment Mined Abiotic Resources Categories in South Africa: The manufacturing of catalytic converter exhaust systems as a case study (10 pp), pp. 162-171, Strauss et al., fig. 7

- CML method implicitly weighs energy carriers much more than minerals compared to Eco-indicator 99 and a region specific method

**Example of car exhaust system produced in South Africa**

## Weighting between different impact categories

- What is more important: health or environment, climate (GWP) or river quality (Eutroph.) or soils (acidif, waste) ?!
- Possibilities of weighting:
  - equal weighting
  - using existing policy targets for normalization
  - asking a panel of selected persons



Source: <http://www.pre.nl/eco-indicator99/weighting.htm>



## Conclusions

- **Single impacts of overall resource use (production & consumption) such as GWP can be accounted with reliable certainty**
- **Accounting for various other specific impacts still difficult**
  - **characterization of important LCA impact categories still lacking or based on disputable assumptions**
  - **aggregation to single indexes requires additional normative assumptions**
- **Macro approaches in combination with reliable LCA elements seem promising to derive key indicators such as global land use (e.g. GLUA) and related change**



**Many thanks for your attention !**

**[stefan.bringezu@wupperinst.org](mailto:stefan.bringezu@wupperinst.org)**

---

## Environmental weighting of resource use

Material Use Indicators for Measuring  
Resource Productivity and Environmental  
Impacts,

Berlin, 25-26 February 2010

Ester van der Voet

Institute of Environmental Sciences, CML  
Leiden University

WI / UBA workshop, Berlin

25-26 februari 2010

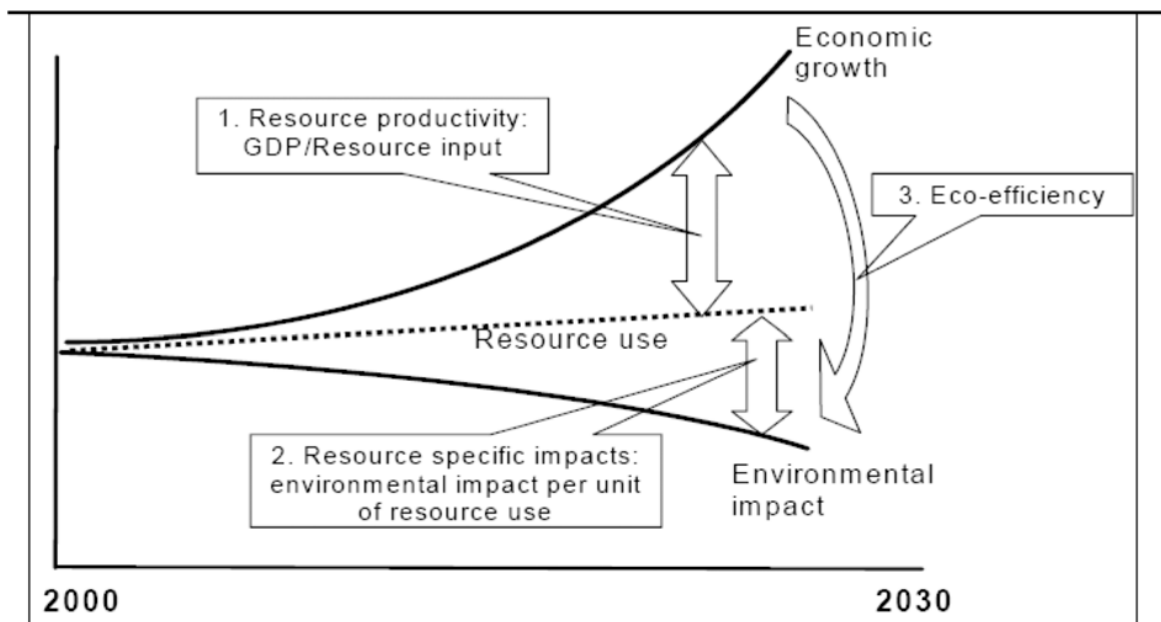
---

## EU Resource Strategy

- EU Thematic Strategy on the Sustainable Use of Natural Resources: a double decoupling

*“Considering that the main drivers of resource use in Europe are economic activities, while at the same time economic growth is a major EU policy objective, the only way to achieve a reduction of environmental impacts is to de-link or decouple environmental impacts from its driver: resource use, and to decouple resource use from its driver: economic growth.”*

## EU Resource Strategy



WI / UBA workshop, Berlin

25-26 februari 2010

## Policy Review on Decoupling

- Measuring double decoupling:
  - » Information on resource use
  - » Information on environmental consequences of resource use
- “Policy Review on Decoupling” (CML, CE Delft & Wuppertal Institute):
  - » add environmental dimension to Material Flow Accounts
  - » use life cycle perspective to include impacts in foreign countries
  - » [http://ec.europa.eu/environment/natres/titles1\\_2.htm](http://ec.europa.eu/environment/natres/titles1_2.htm)

WI / UBA workshop, Berlin

25-26 februari 2010

## Impacts of resource use

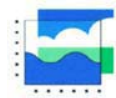
- EMC: Environmentally weighted Material Consumption
- Approach: combine info on mass flows with info on environmental impacts
- use MFA database, esp. DMC, for mass flows per material / resource
- use standard LCA database for environmental impacts per material / resource
  - » ETH database (1996)
  - » update presently ongoing: Ecoinvent (2004)
- multiply
- add to one indicator

WI / UBA workshop, Berlin

25-26 februari 2010

## Impacts of resource use

- Material flows:
  - » resource specific: apparent consumption
  - » economy-wide material balances per material
- Impact factors
  - » based on life-cycle approach
  - » with production-consumption chains as starting point
  - » specify chains of materials with environmental interventions at all points
  - » translate into environmental weights: potential impacts per kg of material, for 11 impact categories
  - » can be used as multipliers for the material flows

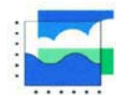


## Impacts of resource use

- Midpoint impact categories included:
  - » abiotic resource depletion
  - » land use
  - » global warming
  - » ozone layer depletion
  - » human toxicity
  - » terrestrial ecotoxicity
  - » aquatic ecotoxicity
  - » photochemical smog formation
  - » acidification
  - » eutrophication
  - » radiation

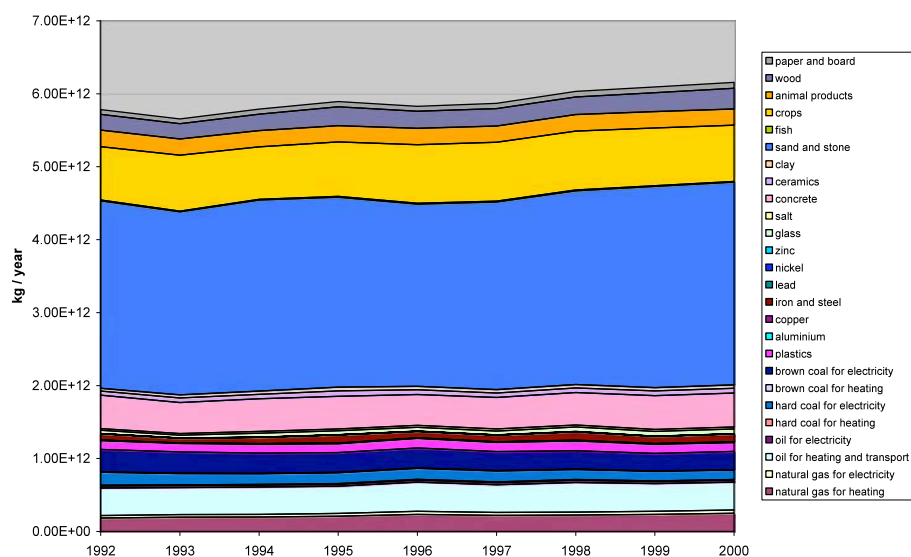
WI / UBA workshop, Berlin

25-26 februari 2010



## Use of resources and materials

Apparent consumption of materials in 28 European countries

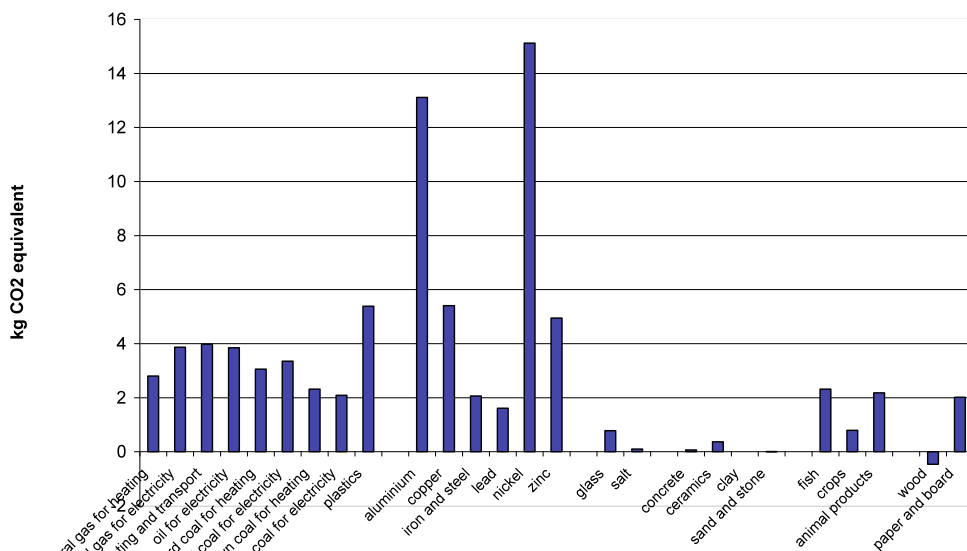


WI / UBA workshop, Berlin

25-26 februari 2010

## Impacts of resource use

global warming potential of 1 kg of different materials

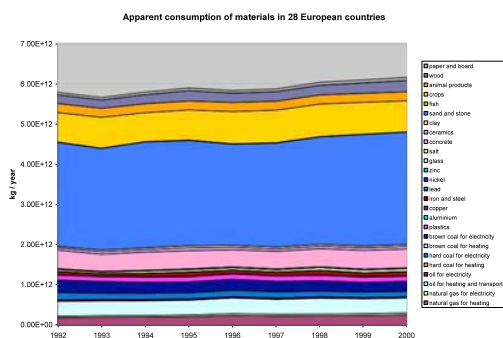


WI / UBA workshop, Berlin

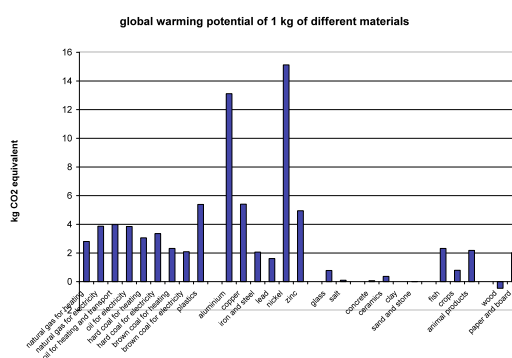
25-26 februari 2010

## Impacts of resource use

Policy Review on Decoupling:  $\text{kg} \times \text{potential impacts/kg} = \text{potential impacts}$



X



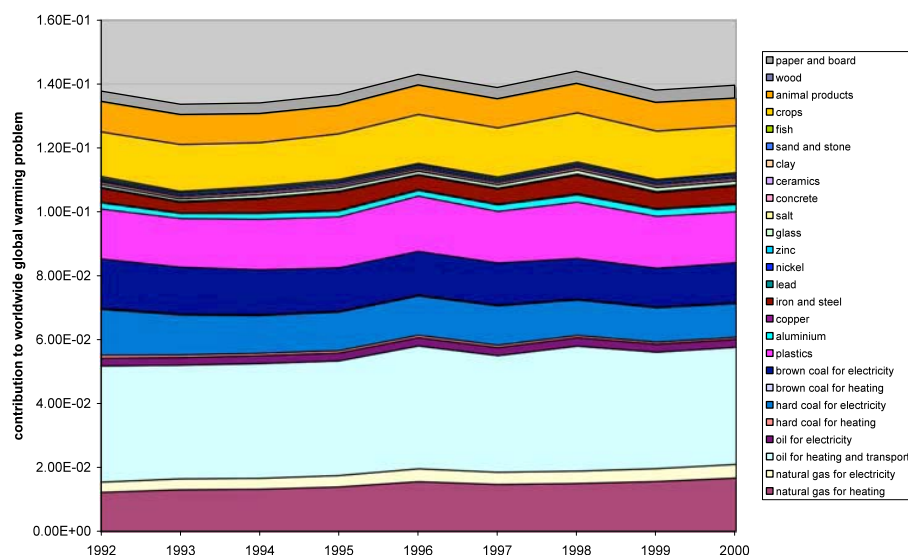
WI / UBA workshop, Berlin

25-26 februari 2010

## Impacts of resource use

Policy Review on Decoupling:  $\text{kg} \times \text{potential impacts/kg} = \text{potential impacts}$

Global warming impacts of apparent consumption of materials in 28 European countries

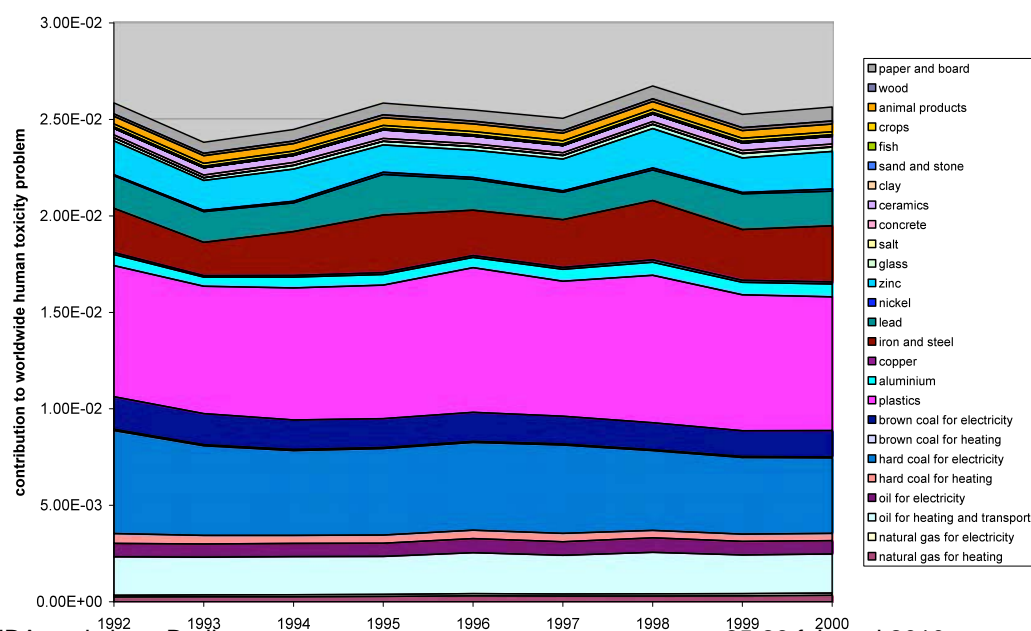


WI / UBA workshop, Berlin

25-26 februari 2010

## Impacts of resource use

Human toxicity impacts of apparent consumption of materials in 28 European countries

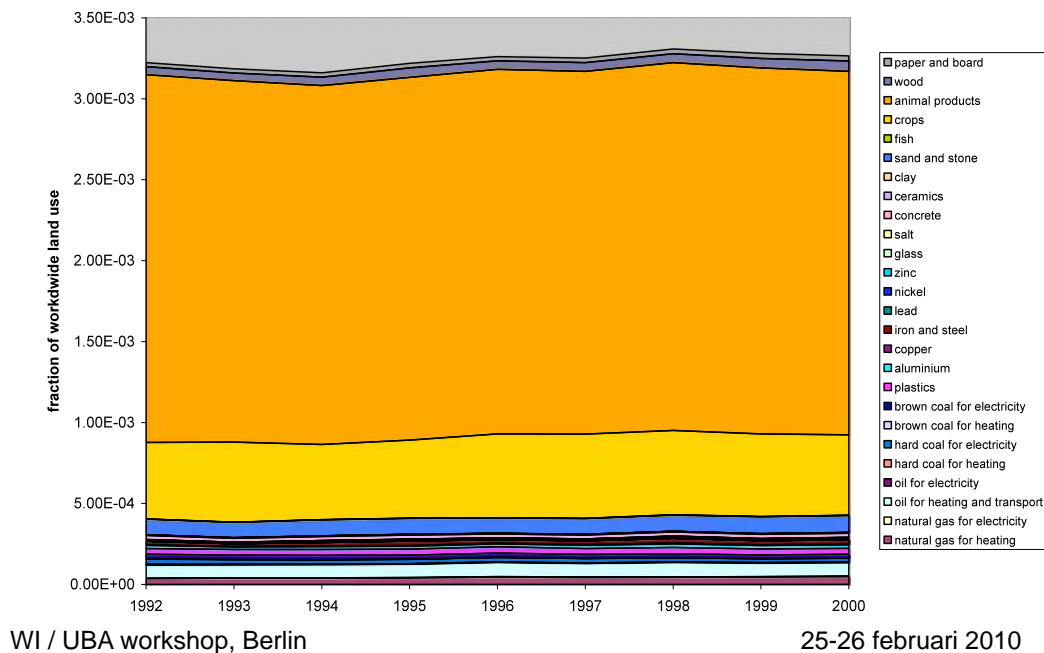


WI / UBA workshop, Berlin

25-26 februari 2010

## Impacts of resource use

Land use impacts of apparent consumption of materials in 28 European countries

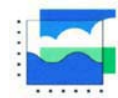


## Impacts of resource use

### Result:

- database with apparent consumption of 33 materials
- database with impacts of materials, in terms of contribution to 11 environmental impact categories per kg material
- a lot of information, can be used for various purposes
- One of which is to derive an aggregate indicator for environmental pressure related to resource use



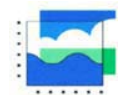


## EMC: $\Sigma$ flows x impacts

- Eleven scores per material, one for each impact category
- Overall indicator: aggregation needed; problem of weighting (relative importance of impact categories)
- Various weighting schemes available, but none generally accepted
- As an example, equal weighting of problem categories

WI / UBA workshop, Berlin

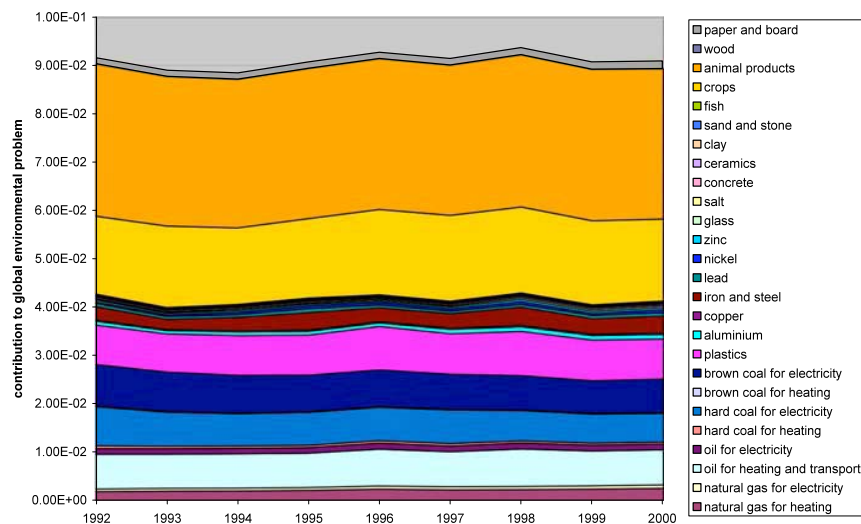
25-26 februari 2010



## Impacts of resource use

### EMC: weighted total (equal weights)

Equally weighted environmental impact of materials, 28 European countries



WI / UBA workshop, Berlin

25-26 februari 2010

## Further EMC development

---

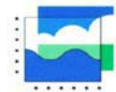
- “Basket of Indicators” study (Best et al, 2008) for EU DG Env:
  - » assessment of indicators for reporting on EU resource strategy
  - » four were selected for the “basket: EF, HANPP, DMC, EMC
  - » in addition: LEAC for land use
- Follow-up study for Eurostat:
  - » assess indicators from “Basket” on data requirement and functionality
  - » further develop EMC

[http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/publications/eurostat\\_indicators\\_final\\_report\\_version\\_141009.pdf](http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/publications/eurostat_indicators_final_report_version_141009.pdf)

## Further EMC development

---

- Material balances
  - » EMC2005 based on MFA accounts
  - » EMC2009 direct use of EU trade and production statistics
- Impact factors
  - » EMC2005 based on ETH database
  - » EMC2009 update with ELCD inventory data

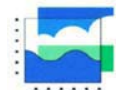


## EMC development: material balances

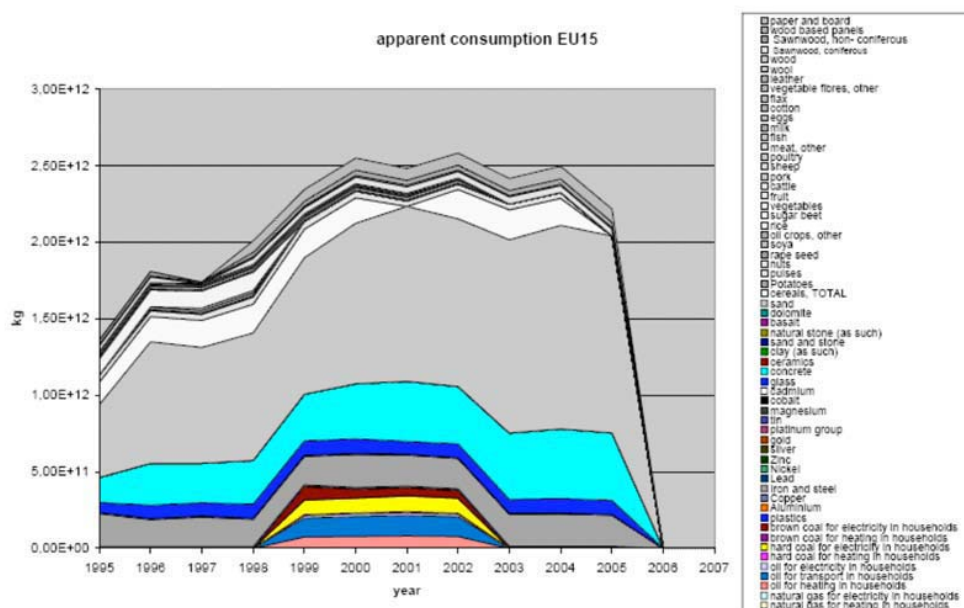
- Material balances:
  - » Supply balance sheets Agriculture
    - available and directly usable
    - allows considerably more detail in biomass materials
    - time series not always complete
    - FAOSTAT
  - » Europroms trade and production statistics
    - in theory, lovely database: detailed information, allows real extension of list of materials (72 instead of 33)
    - in practice, esp. production statistics very incomplete, not always for apparent reasons
    - aggregation may also be problematic
    - MFA accounts, IEA statistics, USGS/other metals and mining reports
  - » Translation protocol developed to avoid double counting

WI / UBA workshop, Berlin

25-26 februari 2010

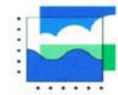


## EMC development: material balances



WI / UBA workshop, Berlin

25-26 februari 2010

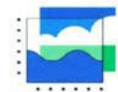


## EMC development: impact factors

- Impact factors:
  - » ELCD presently insufficient for LCI of materials, will remain so for the near future
  - » Update of impact factors done with Ecoinvent 2.0
  - » ELCD LCIA procedure not yet available, can be plugged in and applied to LCI at any moment
  - » Guinée et al. (2002) impact categories used; equal weighting

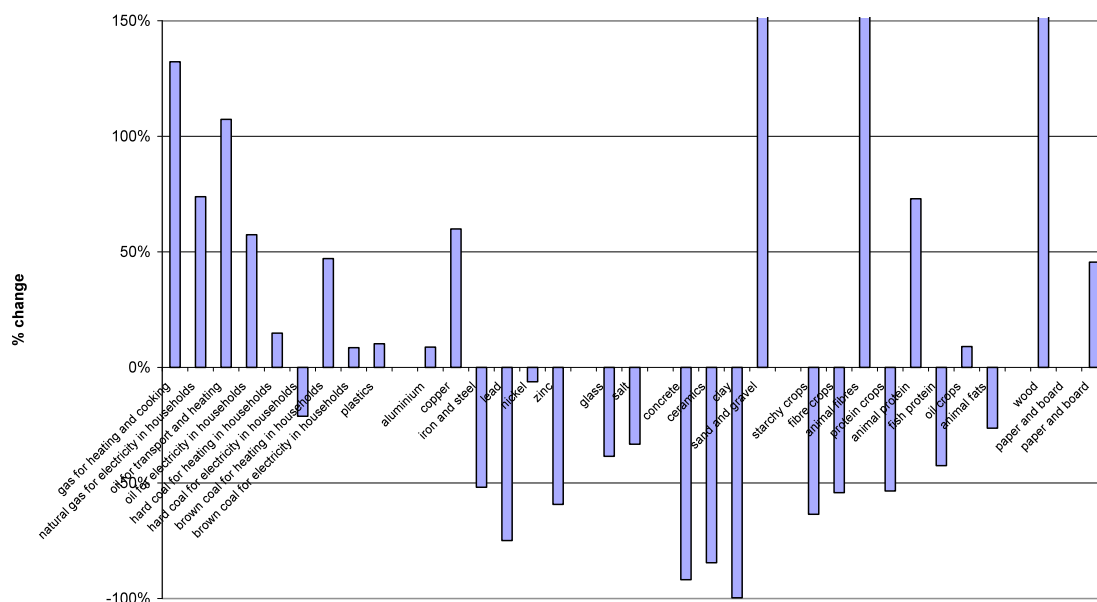
WI / UBA workshop, Berlin

25-26 februari 2010



## EMC development: impact factors

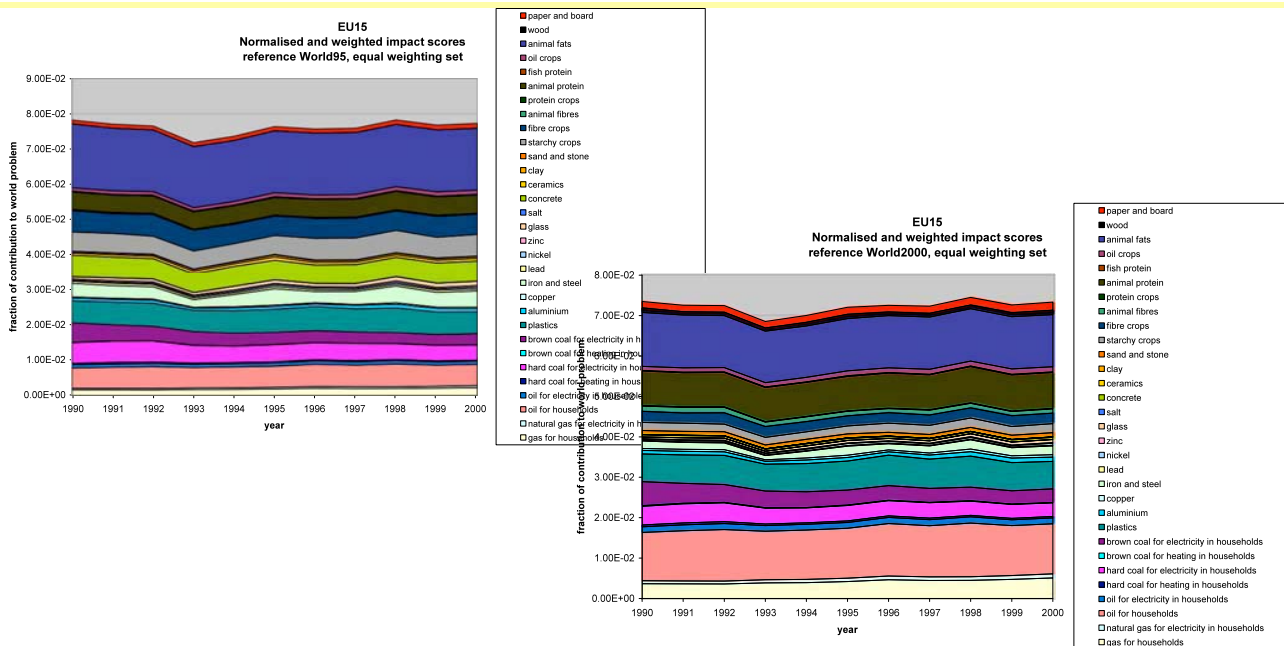
Percentage of change of new impact factor compared to old



WI / UBA workshop, Berlin

25-26 februari 2010

## EMC development: impact factors



WI / UBA workshop, Berlin

25-26 februari 2010

## EMC development

- Material balances pose more problems than impact factors
  - » Complete Europroms!
  - » In the meantime, use other databases: FAOSTAT, MFA accounts, IEA statistics, branch information for metals
  - » With those, considerable expansion of list of materials can be realised
- ELCD not yet usable for impact factors
  - » LCI nowhere near completion – in the meantime, other LCI databases can be used
  - » for LCIA, procedure expected in the near future (including weighting)
  - » updates and country/region specific information remain important issues

WI / UBA workshop, Berlin

25-26 februari 2010

## Aggregate indicators: weighting

Weighting / aggregation:

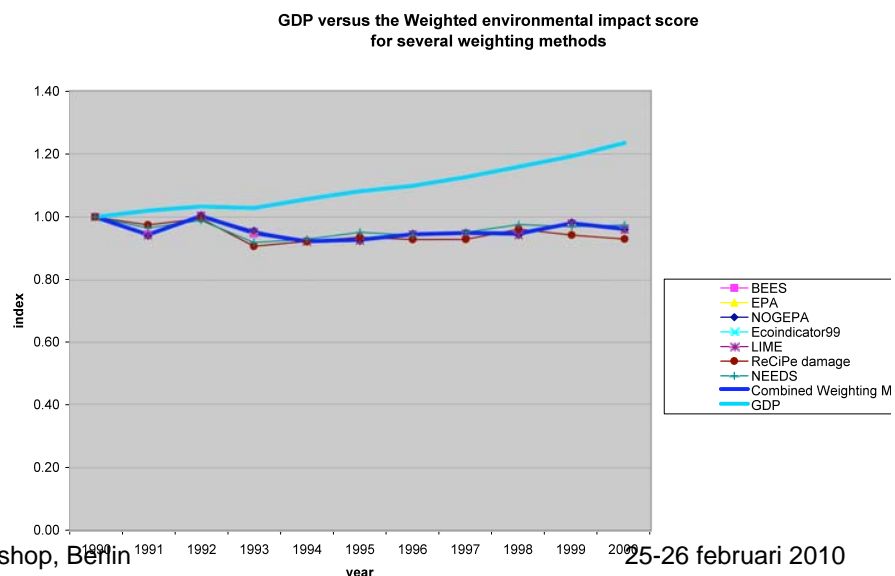
- Tricky business
  - » don't do it at all, but can it be avoided?
  - » depends on purpose:
    - to measure "de-coupling" aggregate indicator is needed
    - for most other purposes not
  - » it's better to do it explicitly than implicitly
  - » weighting is an issue for ALL aggregate indicators, even if sometimes hidden
- By definition based on values
  - » requiring political input
  - » challenge is to policy!

WI / UBA workshop, Berlin

25-26 februari 2010

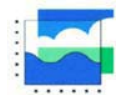
## Aggregate indicators: weighting

Weighting / aggregation: study for JRC on weighting: how do different weighting sets work out?

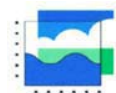
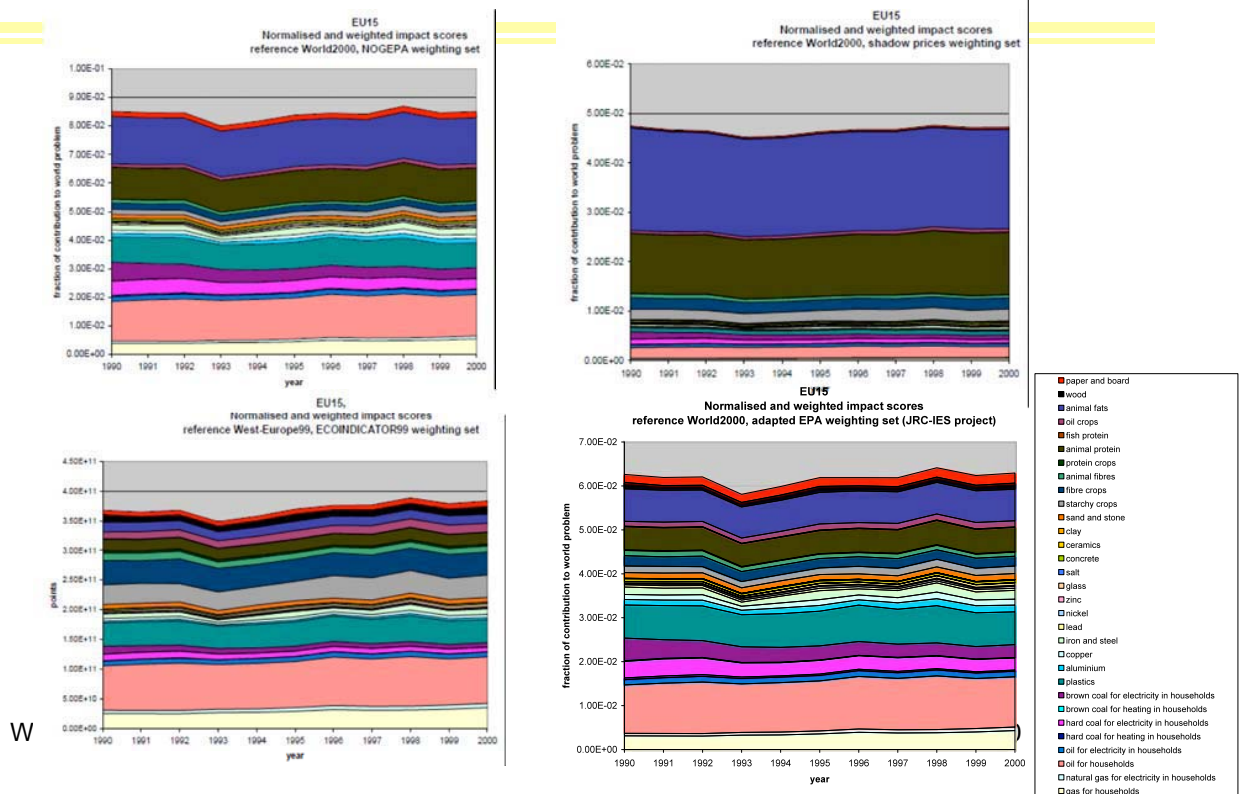


WI / UBA workshop, Berlin

25-26 februari 2010

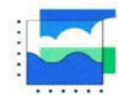


## Aggregate indicators: weighting



## Aggregate indicators: weighting

- At aggregate level: EMC is insensitive for weighting scheme
- At disaggregate level: contribution of materials varies ...
- ... but hardly any difference between midpoint-based methods



## Use of EMC

---

- Developed to measure, combined with GDP and DMC, double decoupling
- Based in active research fields: MFA and LCA
- Can be used at aggregate level as decoupling indicator
- Also can be used at disaggregate level
  - » broken down into materials
  - » broken down into impact categories
- Further development
  - » material balances: agreement on data and procedures (Eurostat)
  - » impact factors: agreement on which ones to use (JRC)
  - » aggregation: agreement on weighting scheme (JRC)





# **Material Use Indicators for Measuring Resource Productivity and Environmental Impacts**

Workshop organized by Wuppertal Institute and Federal Environment Agency (UBA)

Berlin, 25.-26.2.2010

## **Abstracts**

### ***The OECD framework of accounting for material flow and resource productivity and recent experiences in Japan***

*Yuichi Moriguchi*

Director, Research Center for Material Cycles and Waste Management,  
National Institute for Environmental Studies, Japan

During last one to two decades, Material Flow Analysis, Accounting and Indicators have made good progress both in methodologies and policy-relevant uses, through interactions between international and national activities as well as those between methodological experts and policy users. OECD has played a key role in these interactions. OECD Council Recommendation (CR) on Material Flows (MF) and Resource Productivity (RP) was adopted twice in 2004 and 2008. Follow-up activities including workshops in Berlin, Tokyo and other capitals have led to outcomes such as a set of OECD guidance documents for measuring MF and RP. Japanese fundamental plan for establishing a Sound Material-Cycle Society adopted three economy-wide MF indicators with their numerical targets in 2003. While indicators have shown successful trend toward the targets, new indicators with/without numerical targets were introduced in the second plan revised in 2008, for better understanding and monitoring of material flows and resource productivity.

### ***Measuring Material Use and Resource Productivity in Europe***

*Stephan Moll*

Eurostat

In the past, Eurostat has been fostering the methodological harmonisation of measuring material use in Europe (EW-MFA Guide 2001). Since 2007 Eurostat is collecting EW-MFA data (bi-annually). Currently, Eurostat publishes the DMC indicator as a measure for Europe's material use and resource productivity. In future, Eurostat will extend this indicator towards DMC in raw material equivalents (DMC<sub>RME</sub>) which is more suited to measure material use and resource productivity.

## ***Measuring DMI, DMC, TMR and TMC of Germany***

*Helmut Schütz and Mathieu Saurat*  
Wuppertal Institute

The presentation provides comparative analysis for the most prominent indicators of material input - Direct Material Input (DMI) and Total Material Requirement (TMR), and of material consumption - Domestic Material Consumption (DMC) and Total Material Consumption (TMC). Issues address basic definitions, objectives and foundations, as well as practical application, policy relevance and development perspectives.

Results for Germany 1991 to 2004 show relative decoupling of material resource use from economic growth but no sign of absolute reduction of total global material requirements. Non-renewable materials make up the bigger part of Germany's resource use, in particular fossil energy carriers for domestic consumption and domestic construction minerals. Growing indirect resource use for imports is dominated by metals which is to a large extent exported for consumption in the rest of the world.

Direct material consumption indicates only a relatively small portion of total global resource requirements for Germany's domestic consumption.

Sensitivity analysis of the indirect flows of imported metals showed high probability of the results for TMR.

## ***DMI and DMC of Germany calculated as Raw Material Equivalents***

*Sarka Buyny*  
Federal Statistical Office of Germany

Within material flow accounts the indicators known as DMI (Direct Material Input) and DMC (Domestic Material Consumption) are calculated. The main question according these indicators is: how to take into the account the whole material content of imported goods (respectively exported goods). DMI, which includes imported goods in tons, underestimates the real material input of the economy. The Federal Statistical Office of Germany produced a first estimation of DMI and DMC in raw material equivalents (RME). This method tries to integrate the imported goods in form of raw materials directly and indirectly used in the manufacturing and transport process.

The basis for the calculation is a hybrid input-output approach, combined with the coefficients of life cycle analysis for those products, which are not produced in Germany at all or which are manufactured abroad under completely different conditions. As an additional part of RME-calculation, raw materials used for the transport of traded goods were estimated.

The first results were calculated for imports, exports, DMI, DMC and physical trade balance for time period 2000 – 2007.

## ***Accounting for Environmental Impacts of Resource Use - Outline of a challenge and recent approaches***

*Stefan Bringezu*  
Wuppertal Institute

The decoupling of resource use and environmental impacts at macro level can only be measured if valid methods are available. Starting point is the system definition delineating the resources, materials and products used for which specific impacts are then determined in a life-cycle-wide perspective. For this purpose, bottom-up approaches with selected materials, input-output-approaches, and hybrid approaches can be applied. Single specific impacts of overall resource use (production and consumption) such as global warming potential (GWP) can be accounted with reliable certainty. However, accounting for various other specific impacts is still difficult and bound with uncertainty. The characterization and quantification of important LCA impacts categories is still lacking or based on disputable assumptions (e.g. depletion of resources). The aggregation to single indexes requires additional normative assumptions. Macro approaches with reliable LCA elements seem promising to derive key indicators (e.g. global land use change).

## ***Environmental weighting of resource use***

*Ester van der Voet*  
CML

The Environmentally weighed Material Consumption (EMC) indicator has been developed for the EU DG Environment, to support their Resource Strategy. This Strategy aims at double decoupling: (1) economic growth from resource use, and (2) resource use from environmental impacts. While mass-based indicators such as DMC and TMC can be used for the former, the EMC is developed for the latter. The idea is to develop multipliers for materials based on their life-cycle wide environmental impacts. The consumption of those materials weighed by the multipliers and added to a total then is the EMC. For the material consumption, MFA data can be used – a direct use of production and trade statistics is preferable but at EU level statistics are as yet too incomplete to be meaningful. For the impact multipliers, LCI data are used from the Ecoinvent database and translated into 11 midpoint impact categories. These in turn have to be aggregated via normalisation and weighting to arrive at one indicator. Both for the LCI data and for the aggregation, various options are available. Harmonisation within the EU is an ongoing process. EMC is presently considered as one indicator in a basket of decoupling indicators, to be compiled by Eurostat on a regular basis in their Datacenter for Natural Resources.



**Stefan Bringezu  
Helmut Schütz**

Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy

## **Material Use Indicators for Measuring Resource Productivity and Environmental Impacts**

**Workshop – Berlin, 25-26 February 2010  
Background paper**

Paper within the framework of Task 6 of the Project  
„Material Efficiency and Resource Conservation“ (MaRes)



## Contact to the Authors:

Dr. Stefan Bringezu / Dr. Helmut Schütz

Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy  
D - 42103 Wuppertal, Döppersberg 19

Phone: +49 (0) 202 2492 -131, Fax: -138

Email: [Stefan.bringezu@wupperinst.org](mailto:Stefan.bringezu@wupperinst.org)  
[Helmut.schuetz@wupperinst.org](mailto:Helmut.schuetz@wupperinst.org)

*"Material Efficiency and Resource Conservation"*  
(MaRes) – Project on behalf of BMU I UBA

**Project Duration:** 07/2007 – 12/2010

### Project Coordination:

Dr. Kora Kristof / Prof. Dr. Peter Hennicke

Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy  
42103 Wuppertal, Germany, Döppersberg 19

Phone: +49 (0) 202 2492 -183 / -136, Fax: -198 / -145

E-Mail: [kora.kristof@wupperinst.org](mailto:kora.kristof@wupperinst.org)  
[peter.hennicke@wupperinst.org](mailto:peter.hennicke@wupperinst.org)

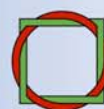
© Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy

More information about the project

"Material Efficiency and Resource Conservation" (MaRes)  
you will find on [www.ressourcen.wupperinst.org](http://www.ressourcen.wupperinst.org)

The project is funded within the framework of the UFOPLAN  
by BMU and UBA, FKZ: 3707 93 300

The authors are responsible for the content of the paper.



**Wuppertal Institute**  
for Climate, Environment  
and Energy

### Wuppertal Institute in Cooperation with

BASF  
Borderstep  
CSCP  
Daimler  
demea – VDI / VDE-IT  
ECN  
EFA NRW  
FhG IAO  
FhG UMSICHT  
FU Berlin  
GoYa!  
GWS  
Hochschule Pforzheim  
IFEU  
Institut für Verbraucherjournalismus  
IÖW  
IZT  
MediaCompany  
Ökopol  
RWTH Aachen  
SRH Hochschule Calw  
Stiftung Warentest  
ThyssenKrupp  
Trifolium  
TU Berlin  
TU Darmstadt  
TU Dresden  
Universität Kassel  
Universität Lüneburg  
ZEW



Federal Ministry for the  
Environment, Nature Conservation  
and Nuclear Safety

**Umwelt  
Bundes  
Amt**   
For our Environment

# **Material Use Indicators for Measuring Resource Productivity and Environmental Impacts**

## **Background paper**

### **Contents**

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>5</b>
1.1	Policy support for sustainable resource management in Germany	5
1.2	Requirements for indicators	6
1.3	Material flow analysis and derived indicators	7
1.4	Development of the MFA accounting framework	13
1.5	Considering environmental impacts of material and resource use	15
	References	19
<b>2</b>	<b>Issues for discussion</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>Indicator briefs</b>	<b>21</b>
3.1	Direct Material Input – DMI	22
3.1.1	Definition	22
3.1.2	Objectives	22
3.1.3	Conceptual and methodological foundation	22
3.1.4	Practical application	23
3.1.5	Relation to impacts	26
3.1.6	Policy relevance	26
3.1.7	Scientific relevance	26
3.1.8	Development requirements and perspectives	27
	References	27
3.2	Domestic Material Consumption – DMC	28
3.2.1	Definition	28



---

3.2.2	Objectives	28
3.2.3	Conceptual and methodological foundation	28
3.2.4	Practical application	29
3.2.5	Relation to impacts	31
3.2.6	Policy relevance	31
3.2.7	Scientific relevance	31
3.2.8	Development requirements and perspectives	31
	References	32
3.3	Total Material Requirement – TMR	33
3.3.1	Definition	33
3.3.2	Objectives	33
3.3.3	Conceptual and methodological foundation	33
3.3.4	Practical application	34
3.3.5	Relation to impacts	37
3.3.6	Policy relevance	37
3.3.7	Scientific relevance	37
3.3.8	Development requirements and perspectives	37
	References	38
3.4	Total Material Consumption – TMC	39
3.4.1	Definition	39
3.4.2	Objectives	39
3.4.3	Conceptual and methodological foundation	39
3.4.4	Practical application	40
3.4.5	Relation to impacts	41
3.4.6	Policy relevance	42
3.4.7	Scientific relevance	42
3.4.8	Development requirements and perspectives	42
	References	43
3.5	DMI and DMC measured as Raw Material Equivalents – RME	44
3.5.1	Definition	44

---

---

3.5.2	Objectives	44
3.5.3	Conceptual and methodological foundation	44
3.5.4	Practical application	45
3.5.5	Relation to impacts	46
3.5.6	Policy relevance	46
3.5.7	Scientific relevance	46
3.5.8	Development requirements and perspectives	47
	References	47
3.6	Environmental Impact Load – EVIL	48
3.6.1	Definition	48
3.6.2	Objectives	48
3.6.3	Conceptual and methodological foundation	48
3.6.4	Practical application	50
3.6.5	Relation to impacts	50
3.6.6	Policy relevance	51
3.6.7	Scientific relevance	51
3.6.8	Development requirements and perspectives	51
	References	51
3.7	Environmentally weighted Material Consumption – EMC	52
3.7.1	Definition	52
3.7.2	Objectives	52
3.7.3	Conceptual and methodological foundation	52
3.7.4	Practical application	53
3.7.5	Relation to impacts	54
3.7.6	Policy relevance	54
3.7.7	Scientific relevance	54
3.7.8	Development requirements and perspectives	55
	References	55

## Tables

Tab. 1-1: Selection criteria for material flow indicators (OECD 2008)	7
Tab. 1-2: Possible relations to measure material and resource productivity (OECD 2008)	11
Tab. 1-3: Attribution of material flow indicators to accounting modules (OECD 2008)	15
Tab. 3-1: DMI data available from the Eurostat and OECD data bases	25
Tab. 3-2: DMC data available from the Eurostat and OECD data bases	30
Tab. 3-3: TMR data available from data bases	36
Tab. 3-4: TMC data available from data bases	41

## Figures

Fig. 1-1: Material flow based analyses and related issues of concern (OECD 2008 based on Bringezu and Moriguchi 2002)	8
Fig. 1-2: Scheme of the socio-industrial metabolism at the level of Economy-wide MFA (after Matthews et al. 2000)	8
Fig. 1-3: Establishment and use of macro indicators - fields of main interest (after OECD 2008)	10
Fig. 1-4: Generic and issue-specific indicators (OECD 2008)	12
Fig. 1-5: Modules of a system of national material flow accounts (OECD 2008)	13
Fig. 1-6: The European Resource Strategy aims at a double decoupling	16

# 1 Introduction

## 1.1 Policy support for sustainable resource management in Germany

The German government intends to assess the applicability of macro indicators measuring the use of resources by the German economy and requests suggestions for further use and development. In a broader context, this relates to the development of a national programme for sustainable resource management, which is, for instance, requested by the EU's Thematic Strategy for Sustainable Use of Natural Resources. More specifically, the existing monitoring of progress towards sustainability in pursuit of the national strategy for sustainable development shall be improved.

The German Sustainability Strategy comprises 21 key indicators covering environmental, economic and social aspects (Federal Government 2002). Environmental indicators are GHG emissions, share of renewable energies, growth of settlement and infrastructure land use, species diversity and quality of landscape, nitrogen surplus, share of organic farming, and air pollution. These indicators are focussing on the development within Germany, although the Statistical Office of Germany also accounts for indirect GHG emissions associated with imports and exports (Schoer et al. 2007).

Number 1 indicator of the German sustainability strategy aims to monitor the decoupling of economic growth from resource use (targets in brackets):

1a energy productivity (doubling from 1990 to 2020)

1b raw material productivity (doubling from 1994 to 2020)

Raw material productivity is measured as  $GDP/(DMI - Biomass)$ . Thus, the indicator is lacking information on indirect resource requirements of imports and on biomass. Therefore, the German government searches for a more comprehensive indicator on the physical side. In this context, questions of the debate are:

- How far shall the system boundary be extended? Shall the indicator account also for unused extraction which has no economic value but also exerts a certain pressure to the environment?
- Shall different environmental impacts be considered within a resource use and productivity indicator or by a separate impact oriented index of material consumption?

## 1.2 Requirements for indicators

Based on year-long experience in the derivation of indicators, the OECD (2008) addresses the criteria and desirable properties of indicators:

- Simplicity and ease of understanding:
  - should provide information and decision support;
  - numbers should be limited;
    - o indicators should be "directionally safe" with regard to the issue they address;
      - should be embedded in a solid data basis;
      - should be founded on sound scientific grounds and theoretical frameworks;
- Acceptance and credibility
  - messages conveyed should be credible;
  - indicators should be accepted and legitimate in the eyes of the users;
  - should benefit from a consensus about their validity.

For new indicators, naturally criteria such as acceptance and consensus will have to develop, such as the data base.

Before that general background, OECD (2008, p. 72) specifies the basic selection and validation criteria (Tab. 1-1).

It is also stressed, that indicators need to be interpreted with regard to their target question(s), set into context, and must not be over-interpreted.

Tab. 1-1: Selection criteria for material flow indicators (OECD 2008)

POLICY RELEVANCE AND UTILITY FOR USERS	
<p>A MF indicator should:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Provide a representative picture of material flows and their interactions with the environment and the economy;</li> <li>◆ Be simple, easy to interpret and able to show trends over time;</li> <li>◆ Be responsive to changes in economic activities, resource productivity, technology development and the environment;</li> <li>◆ Have a threshold or reference value against which to compare it, so that users can assess the significance of the values associated with it;</li> <li>◆ Provide a basis for international comparisons;</li> <li>◆ Be either national in scope or applicable to sub-national issues of national significance.</li> <li>◆ Lend itself to being adapted to specific national and sub-national circumstances.</li> </ul>	<p>Particular aspects to be considered:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ The environmental and economic significance of MF indicators: <ul style="list-style-type: none"> <li>– the relation to environmental pressures or impacts</li> <li>– the relation to economic and trade related issues</li> </ul> </li> <li>◆ The choice of appropriate reference values to which MF indicators can be compared</li> <li>◆ The level of aggregation/detail of MF indicators. <ul style="list-style-type: none"> <li>– Sets of indicators that collectively give the necessary insights versus a highly aggregated indicators.</li> </ul> </li> <li>◆ The country-specific factors that have a bearing on the significance of MF indicators</li> </ul>
ANALYTICAL SOUNDNESS	
<p>A MF indicator should:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Be theoretically well founded in technical and scientific terms;</li> <li>◆ Be based on international standards and international consensus about its validity;</li> <li>◆ Lend itself to being linked to economic and environmental models, forecasting and information systems.</li> </ul>	<p>Particular aspects to be considered:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ The internal coherence of MF indicators</li> <li>◆ The external coherence of MF indicators: <ul style="list-style-type: none"> <li>– with national accounts aggregates;</li> <li>– with productivity measures such as capital productivity, labour productivity, multi-factor productivity;</li> </ul> </li> <li>◆ The additivity of MF variables to enable the calculation of regional aggregates (for the OECD as a whole or for OECD regions, for the European Union, for the G8, for world regions).</li> </ul>
MEASURABILITY	
<p>The data required to support the indicator should be:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Readily accessible or made available at a reasonable cost/benefit ratio;</li> <li>◆ Adequately documented and of known quality;</li> <li>◆ Updated at regular intervals in accordance with reliable procedures.</li> </ul>	<p>Particular aspects to be considered:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ The level of ambition pursued and the choice of the data sources to be used.</li> <li>◆ Data accuracy (completeness and statistical uncertainties) due to the indirect measurement of certain MF variables. This is especially important for certain aggregated EW-MF indicators and their interpretation.</li> </ul>

a) Based on OECD (1993).

b) These criteria describe the "ideal" indicator; not all of them will be met in practice.

Source: OECD.

### 1.3 Material flow analysis and derived indicators

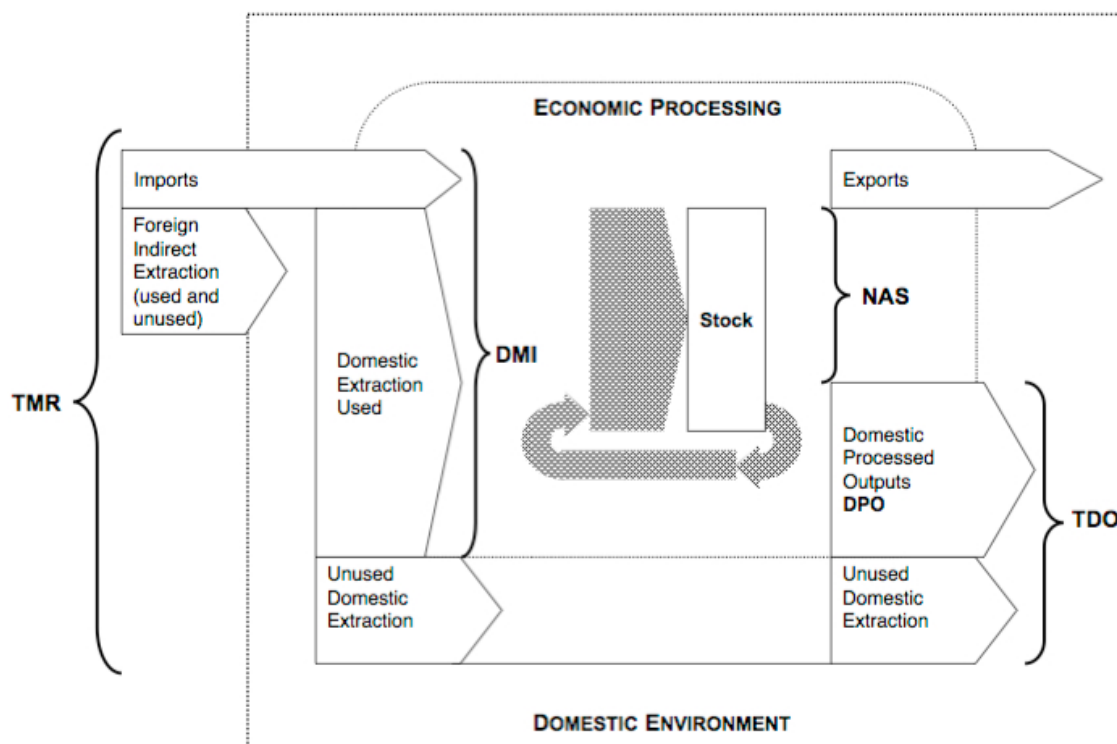
Material flow based analyses are used to answer various target questions and different scales, ranging from selected substances, materials, products, to companies, sectors and whole economies (Fig. 1-1). Macro indicators are focussing on the development at the country level. Nevertheless, with regard to implementation of related targets at the sector and company/product level it seems important that the macro level indicators are also applicable at these other levels.

Fig. 1-1: Material flow based analyses and related issues of concern (OECD 2008 based on Bringezu and Moriguchi 2002)

Issues of concern	Specific concerns related to environmental impacts, supply security, technology development			General environmental and economic concerns related to the throughput		
	within certain businesses, economic activities, countries, regions			of substances, materials, manufactured goods		
	associated with			at the level of		
Objects of primary interest	Substances	Materials	Products (manufactured goods)	Businesses	Economic activities	Countries, regions
	chemical elements or compounds e.g. Cd, Cl, Pb, Zn, Hg, N, P, C, CO <sub>2</sub> , CFC	raw materials and semi-finished goods e.g. energy carriers, metals (ferrous, non-ferrous), sand and gravel, timber, plastics	e.g. batteries, cars, computers	e.g. establishments, plants, small and medium sized enterprises, multi-national enterprises	e.g. mining, construction, chemical industry, iron and steel industry	e.g. aggregate mass of materials (& related materials mix), groups of materials, selected materials
Type of analysis	Ia Substance Flow Analysis	Ib Material System Analysis	Ic Life Cycle Assessment	Iia Business level MF analysis	Iib Input-Output Analysis	Iic Economy-wide MF Analysis
	↕	↕	↕	↕	↕	↕
Type of measurement tool	Substance Flow Accounts ☉	Individual Material Flow Accounts ☉	Life Cycle Inventories	Business Material flow accounts	Physical Input-Output Tables ☉, NAMEA-type approaches ☉	Economy-wide Material Flow Accounts ☉

☉: MFA tools using the materials balance principle. ☉: MFA tools using national accounting principles fully in line with the SEEA.

Fig. 1-2: Scheme of the socio-industrial metabolism at the level of Economy-wide MFA (after Matthews et al. 2000)



Economy-wide Material Flow Analysis (ew-MFA) accounts for material use of a country by providing a set of indicators which - in a complementary manner - provide information on essential characteristics of the socio-industrial metabolism (Fig. 1-2).

For the assessment of single types of indicators it seems valuable to consider the specific information conveyed in relation to the status and dynamics of the metabolism:

#### Input indicators

Input indicators measure those materials that enter the socio-industrial metabolism to support activities within the economy, mainly to extract those materials from the environment which are used for production and consumption. They include: Direct Material Input (DMI), and Total Material Requirement (TMR).

#### Output indicators

Output indicators account for those materials that have been used or moved for production and consumption purposes, and are subsequently leaving the system either in the form of emissions and waste, or in the form of exports. Output indicators include: Domestic Processed Output (DPO), Total Material Output (TMO) and Total Domestic Output (TDO).

#### Consumption indicators

Consumption indicators describe those materials that are moved for or used within the domestic economy for consumption purposes. They include: Domestic Material Consumption (DMC) and Total Material Consumption (TMC). As they only consider the material and resource flows associated with domestic consumption, the DMC and TMC can be calculated by subtracting exports (and their associated indirect flows for the TMC) from the DMI and TMR respectively. TMC thus measures all primary material requirements of domestic or foreign resources, which are attributable to domestic consumption.

#### Balance indicators

The Net Additions to Stock (NAS) measures the physical growth of the economy, which reflects the difference between inputs and outputs<sup>1</sup>. The Physical Trade Balance (PTB) measures the physical trade surplus or deficit of an economy and is defined as imports minus exports (excl. or incl. of their hidden flows).

---

<sup>1</sup> Theoretically, the difference may become negative which would reflect a development of declining material stocks



## Productivity indicators

Productivity indicators can be constructed by combining a desired outcome with economy-wide MFA indicators. If the desired outcome is an economic performance indicator, information about the eco-efficiency of the economy can be provided. The GDP per DMI, for example, indicates the (direct) material productivity, whereas the GDP per TMR is a measure of the resource (total material) productivity. Monitoring productivity indicators over time allows examination of the way in which decoupling of material and/or resource use from economic growth resp. value added has occurred.

## Consistency indicators

Consistency indicators are still under development. They indicate the degree to which anthropogenic material flows are embedded in natural systems in a sustainable way, which allows for the continued use of materials without overstressing absorption or regeneration functions. A proxy for such an indicator could, for instance, be the share of renewables in DMI stemming from sustainable cultivation schemes.

With regard to the concerns driving the establishment and use of macro indicators, OECD (2008) distinguishes the following fields of main interest (after OECD 2008):

Fig. 1-3: Establishment and use of macro indicators - fields of main interest (after OECD 2008)

**❶ Monitoring the material basis of national economies and industries.**

This requires indicators that reflect the level and characteristics of materials use in the economy or in industries (and process chains).

**❷ Monitoring the material productivity of national economies and industries.**

This requires indicators that reflect the intensity of materials use in the economy or in industries (and process chains), and that can be linked to productivity issues and eco-efficiency measures.

**❸ Monitoring the interactions of trade and globalisation with material flows.**

This requires indicators that reflect international movements and trade in materials (raw materials, semi-finished goods, materials embodied in finished goods, recyclable materials, hazardous materials) and that can be linked to issues of foreign outsourcing, demand and supply issues, and environmental risks and safety issues.

**❹ Monitoring the management of selected natural resources and materials.**

This requires indicators that reflect developments in selected materials that raise concerns as to the environmental consequences of their production and use, the adequacy of their supply, or the effectiveness of their management. Such indicators can be linked to issues of natural resource management, biodiversity, waste and materials management, as well as to specific resource productivity issues.

**❺ Monitoring the environmental impacts of materials use (overall and specific).**

This requires indicators that reflect developments in materials that raise concerns as to the environmental consequences of their production and use. Such indicators can be linked to issues of toxic contamination, environmental health, biodiversity, waste management, but also to natural resource management.

Concerns (1) and (2) may be extended towards the interest in the resource basis and resource productivity of national economies and industries, which would imply the extension of the system boundary towards the interface of nature and technosphere. Whereas material use could relate to any material used within the technosphere and economy, resource use generally means to account for the material use in terms of all up-stream extractions of primary materials, i.e. material resources, required to deliver these materials.

There are different relations possible between GDP as divisor and material or resource input indicators as denominator (Tab. 1-2). Which physical indicator is chosen depends on the target interpretation required. There are formal arguments that the physical indicators should be defined in the same manner as GDP, i.e. excluding imports; on the other hand, there is the basic argument that an indicator should be chosen with regard to the main concern. If the concern comprises the political intention to monitor the resource productivity also with regard to the global resources used for the production of domestic final consumption or export, then the imports and their indirect flows need to be included. In that sense, GDP/DMI and GDP/TMR would be adequate to indicate (direct) material productivity and total material productivity, resp. In contrast, DMC and TMC would be more adequate to indicate the absolute level of (domestic) material consumption and total material consumption, resp..

Tab. 1-2: Possible relations to measure material and resource productivity (OECD 2008)

Type of input measure Type output measure	<b>Direct Material Input or Raw Material Input</b>	<b>Total Material Requirement (incl. indirect flows)</b>	<b>Domestic Material Consumption or Raw Material Consumption</b>	<b>Total Material Consumption (incl. indirect flows)</b>
<b>GDP, Value added</b>	Direct Material Productivity GDP/DMI Direct Raw material Productivity GDP/RMI	Total Material Productivity GDP/TMR	Domestic Material Productivity GDP/DMC Domestic Raw Material productivity GDP/RMC	Total Domestic Material Productivity GDP/TMC

The OECD (2008) distinguishes two broad groups of indicators:

Fig. 1-4: Generic and issue-specific indicators (OECD 2008)

#### ■ Generic indicators

The most common national MF indicators in use can be derived from simple economy-wide MFAcc considering only flows of materials entering the economy (input flows), without the need to compile a complete material balance. They usually represent medium to top-level aggregates of the accounting variables, with top-level aggregates covering all materials, except water and air.

Most OECD countries that have developed a national set of environmental or sustainable development indicators include in their set one or several indicators derived from simple national EW-MFAcc. These indicators are best suited for supporting broader policy considerations. They often serve general information and communication purposes, and contribute to raising awareness. They are less suited for supporting policy analysis, unless complemented with more detailed statistics (e.g. on MF by economic activity) or broken down into their constituent variables, by material groups (e.g. metals, construction minerals, fossil fuels, woody and other biomass) or by flow type (e.g. used and unused material flows, primary and secondary raw materials).

#### ■ Issue-specific indicators

Similar, but more specific indicators reflecting particular problems can be derived from more sophisticated MFA tools such as material system analysis (MSA), substance flow accounts and analysis (SFA), life cycle assessments (LCA) and extended input-output analysis (eIOA) or from comprehensive national MFAcc. A higher level of detail can be reached with regard to:

- economic activities, industries, enterprises, product groups (meso level) down to life-cycle-inventories and analyses of specific products;
- specific materials and substances and the analysis of related flows;
- a combination of these two types of breakdowns,

The generic indicators provide information on the structure and volume of the metabolism (input, output, balance, productivity etc.), and the "broader policy considerations" can be long-term targets to sustain that metabolism, e.g. by reducing the input to levels which are deemed more sustainable, or towards a flow equilibrium of input and output. The issue specific indicators relate to particular problems and related material and substance flows, e.g. GHG emissions and global warming.

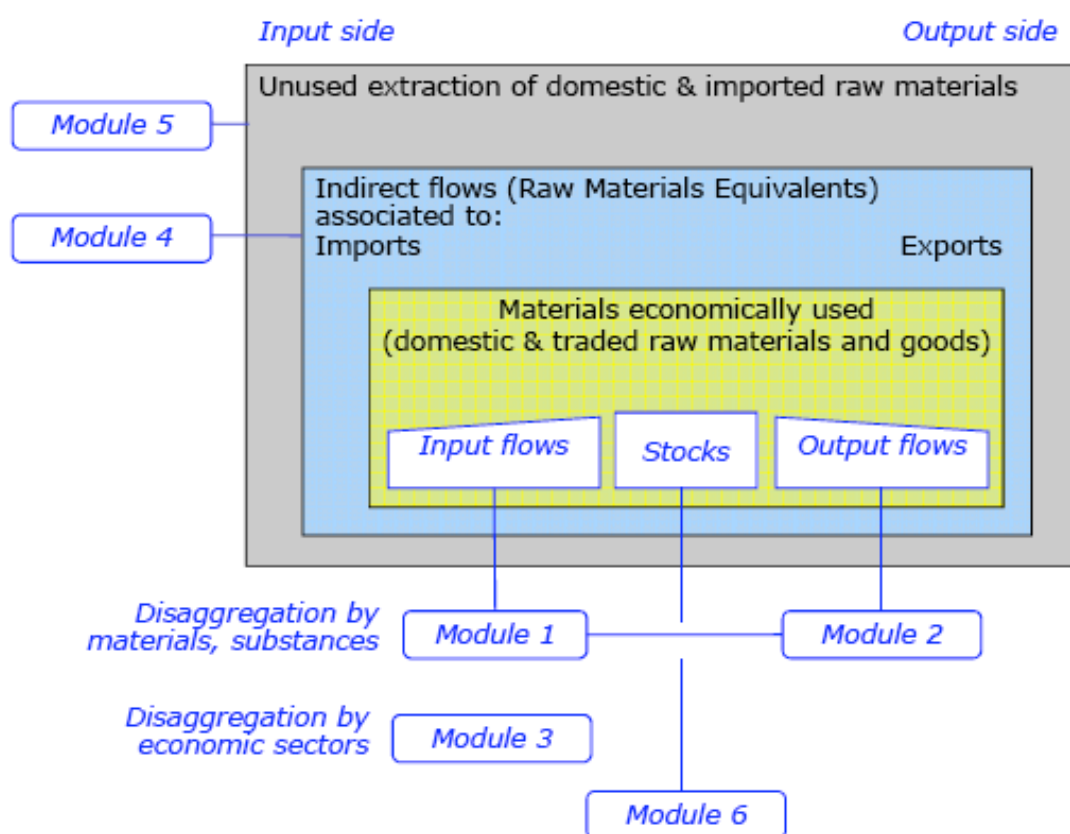
Sustaining the socio-industrial metabolism would require both

- the adjustment of the structure and volume of the overall metabolism (and related land use pattern) which can be upheld for a longer period without impairing the co-evolution with natural systems;
- the reduction of specific environmental pressures below acceptable levels (e.g. GHG, ODP, eutrophication).

## 1.4 Development of the MFA accounting framework

A fast development of ew-MFA took place since the beginning of the 1990s, and standard framework for official statistics have meanwhile be established by Eurostat (2001, 2009) and the OECD (2008). These frameworks foresee a stepwise approach through the establishment of indicators (Fig. 1-5; Tab. 1-3), starting with indicators which can easily be supplied but have limited information value (e.g. DMI and DMC), and proceeding towards more challenging indicators which provide a more comprehensive information (e.g. TMR and TMC), in particular, an information which minimizes the risk of problem shifting (towards categories of flows which are not yet accounted for, e.g. biomass, unused extraction, indirect flows of imports/exports).

Fig. 1-5: Modules of a system of national material flow accounts (OECD 2008)



Thus, when focussing on the input side in order to account for material and resource use and productivity, the statistical framework foresees three steps:

1. DMI and DMC (without indirect flows of trade, and without unused extraction)
2. DMI and DMC in Raw Material Equivalents (RME) (incl. indirect flows of used extraction)

### 3. TMR and TMC (incl. used and unused extraction as well as indirect flows of both)

Each of these indicators provides a different information. They are therefore complementary rather than competitive. The basic characteristics are listed in the indicator briefs below.

Concerning the consideration of indirect flows of imports and exports, these are prerequisites in order to monitor shifts between domestic and foreign material/resource use.

As regards the distinction of used and unused extraction, it seems important to note that this is an economic classification which is not necessarily relevant for environmental impacts. The environmental pressure associated with resource extraction is often related to the overall extraction volume or mass, e.g. in terms of landscape change and groundwater impairment, whereas the part of the extraction which has an economic value is relatively small. Thus, neglecting unused extraction may be misleading in particular for (rare) metals. With regard to the system boundary, accounting for DMI-RME would reflect the *output* of the first processing, whereas considering used and unused extraction would reflect the *input* to the first processing in physical terms.

As a consequence, any selection of an indicator will require a decision about a target questions to be prioritised, as well as a consideration of the feasibility of regular application (data availability and effort of compilation).

Nevertheless, the development of material use towards resource use and productivity indicators seems to be relatively straightforward, from narrow towards sufficiently comprehensive indicators.

Tab. 1-3: Attribution of material flow indicators to accounting modules (OECD 2008)

No. of the module	Basic MF indicators and related accounting variables	Efficiency indicators*	Other MF indicators and indicators for particular material flows
Module 1	Domestic extraction (DE) Imports (IM) Direct material input (DMI)	GDP* per DMI	DMI per capita DEU per area IMP per DMI DEU per DMI IMP per price of imports Share of renewables in DEU Share of renewables in DMI DMI <sub>REC</sub> Flows of particular interest
Module 2	Exports (EXP) Emissions and wastes (EW) Dissipative use of products (DUP) Domestic material consumption (DMC) Domestic processed output (DPO) Net additions to stock (NAS) Physical trade balance (PTB)	GDP* per DMC GDP* per DPO	DMC per capita DPO per capita DMC per area DPO per area NAS per area IMP per DMC DEU per DMC EW per DPO DUP per DPO EXP per price of exports Flows of particular interest
Module 3	DMI by economic sectors DMC by economic sectors DPO by economic sectors	Gross value added* of particular sector per sectoral DMI Gross value added* of particular sector per sectoral DMC Gross value added* of particular sector per sectoral DPO	Flows of particular interest
Module 4	Raw material equivalents of imports (RME <sub>IMP</sub> ) Raw material equivalents of exports (RME <sub>EXP</sub> ) Raw material input (RMI) Raw material consumption (RMC) PTB based on RME <sub>IMP</sub> and RME <sub>EXP</sub>	GDP* per RMI GDP* per RMC	RMI per capita RMC per capita IMP per RME <sub>IMP</sub> EXP per RME <sub>EXP</sub> Share of renewables in RMI Flows of particular interest
Module 5	Unused domestic extraction (UDE) Domestic total material requirement (domestic TMR) Total unused extraction (TUE) Indirect flows of imports (IF <sub>IMP</sub> ) Indirect flows of exports (IF <sub>EXP</sub> ) Total material requirement (TMR) Total material consumption (TMC) PTB based on IF <sub>IMP</sub> and IF <sub>EXP</sub>	GDP per TMR GDP per TMC	TMR per capita TMC per capita UDE per domestic TMR TUE per TMR Sum of IMP and IF <sub>IMP</sub> per TMR Sum of IMP and IF <sub>IMP</sub> per TMC Sum of DEU and UDE per TMR Sum of DEU and UDE per TMC Share of renewables in TMR TMR <sub>REC</sub> Flows of particular interest
Module 6	Gross additions to stock (GAS) Net additions to stock (NAS)	n.a.	GAS per DMC incl. input balancing items NAS per area Flows of particular interest

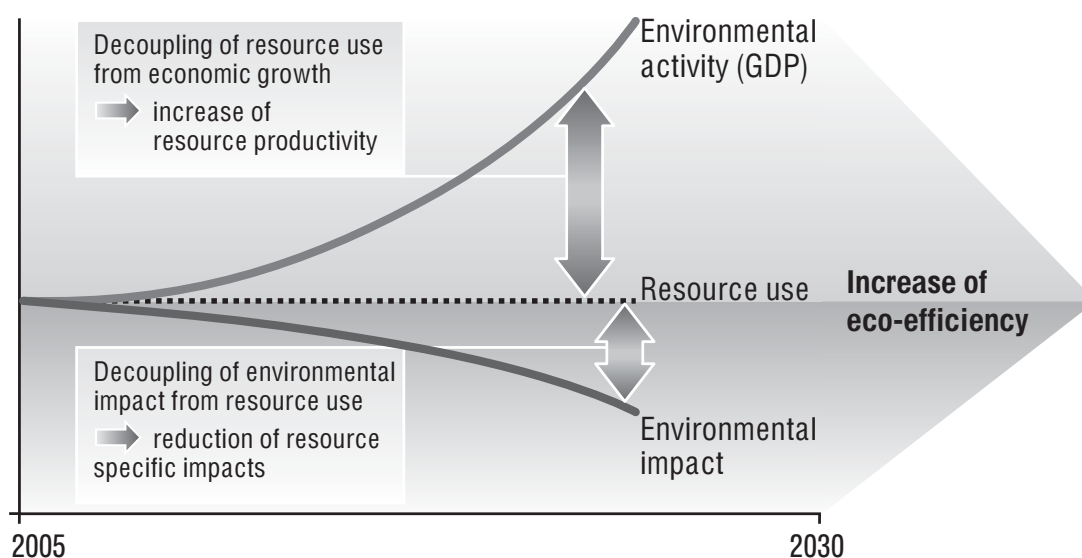
\* Depending on the MF variable used, adjustments to the economic variable may be needed to ensure the statistical coherence between the two parts of the ratio.  
Source: OECD.

## 1.5 Considering environmental impacts of material and resource use

On the level of single materials and products, it is obvious that there are different specific life-cycle wide impacts, as can be measured by means of LCIA-type analysis. Therefore, it has been argued that the material composition of an economy should be altered towards a lower overall impact, and therefore, the overall impact of material and resource use should be accounted for. This had particularly been pushed by the European Commission defining a double-decoupling (Fig. 1-6).



Fig. 1-6: The European Resource Strategy aims at a double decoupling



Concluding from individual materials' environmental profile to the overall impacts of an economy is not straightforward. To mention only a few aspects:

- Materials and products are associated with different environmental profiles which add up to the overall performance of the economy in a way that strengths and weaknesses across production lines often compensate each other;
- Substitution of one material for another also leads to the exchange of the related bundles of specific pressures;
- Shifts between different environmental impacts may not be easy to evaluate;
- Shifts towards impacts which cannot be measured sufficiently will be neglected.

As a consequence, the assumption that environmental impacts - overall - can be effectively decoupled from resource use at the macro level, remains hypothetical for the time being. In order to test the hypothesis, one may try to develop impact oriented indicators which quantify the impacts as far as possible at the macro level. This is the aim of several recent and ongoing studies, commissioned by European institutions and national governments.

Basic challenges for those impact oriented indicators are:

1. The systems definition and the inventory of the materials and resources considered
2. The categorization and quantification of specific environmental impacts
3. The normalization of each impact to compare it with other impacts
4. The relative weighting of different impacts against each other

Two indicator concepts may be used to exemplify those challenges and the options to deal with them. The Environmentally weighted Material Consumption (EMC) and the Environmental Impact Load (EVIL) are described in the indicator briefs below.

The **systems definition** comprises the definition of the system boundary in functional terms. For life-cycle oriented studies, accounts and indicators that generally considers processes from resource extraction up to final disposal. Those flows are accounted for which pass these processes, thereby crossing the system boundary between environment and the socio-economic system. The scope defines the political-geographic area for which the flows are to be considered, usually for a period of one year. A critical aspect is the selection of flows crossing the system boundary which are accounted for. Both EMC and EVIL *select a limited number of base materials* for which the environmental profiles of impacts from cradle-to-material and resulting waste-to-final disposal are considered (the use phase being considered indirectly by consumption of energetic materials). As a consequence, there remains a rest of unconsidered flows the relevance of which remains to be clarified.

Regarding the **categorization and quantification** of environmental impacts, both concepts rely on the LCA impact assessment methodology. As a consequence, the strengths and weaknesses of LCAI are fully adopted. *Not all impacts can be quantified and attributed to single materials/products*. Still there are no sufficiently harmonized methods to account for the biodiversity losses, or for eco-toxicity impacts, to mention only two types of impacts.

Regarding the "impacts" calculated in LCA these may refer to so-called mid-points or end-points. Mid-point categories are identical to the pressures in the DPSIR-framework used at the macro level (e.g. GWP, ODP, eutrophication). End-point categories are deaths of people or species extinction. In order to calculate end-point categories a number of assumptions must be met which can hardly be verified. Mid-point impact categories seem much more reliable and rather undisputed.

The **normalization** of the quantified specific impacts (e.g. GWP, ODP) can be done by dividing the specific pressure values

- by the status quo of the same pressure at the national/EU level (EMC); this indicates the specific contribution of the material/product chain to the specific overall pressure;



- by the policy target for the same pressure at the national/EU level (EVIL); this indicates the specific contribution weighted by the policy target, with higher values resulting from lower target values.

The results of the normalization step are values without units, which can be summed up across different impact categories. However, summing them up implies a specific **weighting between categories**. Without the application of additional factors, equal weighting is performed. This may be more problematic for an indicator such as EMC, whereas it could be acceptable for an indicator such as EVIL, where the target values have already been considered and thus defined the political priorities. In any case this requires the availability of policy targets for the different specific impact categories. EMC may also apply specific weighting, for instance, based on expert judgement taken from ad-hoc councils.

A recently started research project, commissioned by JRC-Ispra, and conducted by PE-International and the Wuppertal Institute is going to provide LCA-based macro indicators for three groups:

- impacts of resource use: the available data for the specific pressures at the country level are combined with the available data for those pressures for all imports and exports;
- impacts of products: a product basket of environmentally most relevant products is defined, and LCA impacts are related to domestic production plus imports minus exports;
- impacts of waste management: impacts for a selection of waste streams are determined.

This project will also have to deal with the LCA specific problems mentioned above, however, it intends to cover the socio-industrial metabolism much more comprehensive than by using a selection of consumed base materials.

Research towards an overall indicator of environmental impacts of resource use is ongoing.

## References

- Bringezu, S. / Moriguchi, Y. (2002): The life-cycle-perspective and the industrial metabolism: shuffling the analytical tool box. In: Proceedings of the fifth International Conference on EcoBalance : practical tools and thoughtful principles for sustainability. - Tokyo : Soc. of Non Traditional Technology, 2002, S. 673-676
- Eurostat (2001): Economy-wide material flow accounts and derived indicators. Luxembourg.
- Eurostat (2009): Economy-wide Material Flow Accounts: Compilation Guidelines for reporting to the 2009 Eurostat questionnaire. Luxembourg.
- Federal Government (2002): Perspectives for Germany. Our Strategy for Sustainable Development.  
[http://www.bundesregierung.de/nsc\\_true/Content/DE/\\_\\_\\_Anlagen/2006-2007/perspektives-for-germany-langfassung.property=publicationFile.pdf/perspektives-for-germany-langfassung](http://www.bundesregierung.de/nsc_true/Content/DE/___Anlagen/2006-2007/perspektives-for-germany-langfassung.property=publicationFile.pdf/perspektives-for-germany-langfassung)
- Matthews, E. / Amann, C. / Bringezu, S. / Fischer-Kowalski, M. / Hüttler, W. / Kleijn, R. / Moriguchi, Y. / Ottke, C. / Rodenburg, E. / Rogich, D. / Schandl, H. / Schütz, H. / van der Voet, E. / Weisz, H. (2000): The weight of nations: Material outflows from industrial economies, World Resources Institute Report, Washington D. C.  
[http://pdf.wri.org/weight\\_of\\_nations.pdf](http://pdf.wri.org/weight_of_nations.pdf)
- OECD (2008): Measuring material flows and resource productivity: Volume I. The OECD Guide. Paris.
- Schoer, K., Buyny, S., Flachmann, C., Klink, S., Mayer, H. (2007): Umweltbelastungen durch deutsche Importe und Exporte. Ergebnisse der UGR über indirekten Energieverbrauch, Kohlendioxidemissionen und Güterbeförderungsleistungen. Destatis – UGR.  
<http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publikationen/Fachveroeffentlichungen/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/UmweltbelastungenImExporte.property=file.pdf>

## 2 Issues for discussion

In order to clarify the further development of the raw material productivity indicator of the German SD strategy, and possible supplements and extensions by a set of other material flow based indicators, a discussion of the candidate indicators by means of certain criteria is necessary.

With respect to the main target questions to be answered for policy support the following criteria are of prior importance:

### **A: Main criterion:**

Do the underlying concepts and theoretical foundations ensure direction safety with regard to

- (a) progress towards sustainable resource use,
- (b) with regard to generic or specific environmental impacts?

### **B: Secondary criteria:**

- (1) Is practicability given with regard to
  - (a) data availability
  - (b) effort for compilation and regular up-date
  - (c) robustness of data, considering accuracy and uncertainties?
- (2) Is the methodological basis solidly described, and practical guidance available?
- (3) Is international comparability given and/or can harmonisation be developed?

The candidate indicators will have to be assessed against these criteria.

### **3 Indicator briefs**

The following indicator briefs address the material flow indicators DMI, DMC, TMR, TMC and RME and the impact oriented indicators EVIL and EMC.

The briefs have been compiled by Wuppertal Institute (DMI, DMC, TMR, TMC), together with CML (EMC), and by Ifeu (RME, EVIL).

## **3.1 Direct Material Input – DMI**

### **3.1.1 Definition**

“Direct Material Input (DMI) – measures the direct input of materials for use into the economy, i.e. all materials which are of economic value and are used in production and consumption activities; DMI equals domestic used extraction plus (direct) imports.” (Eurostat 2001).

### **3.1.2 Objectives**

DMI stands for the direct material use for production and consumption of the economy, ie the flow (amount per year) of materials entering manufacturing for domestic consumption or export, or for direct final consumption; it covers fossil fuels, biomass, metallic minerals, industrial and construction minerals; the inflow of DMI determines the amount of subsequent wastes and emissions from manufacturing and households, mainly in the reporting country, partly in the countries receiving the exports produced from DMI.

DMI does not contain unused domestic extraction and indirect resource flows of imports. It does not indicate specific environmental impacts.

### **3.1.3 Conceptual and methodological foundation**

#### Conceptual foundation

DMI is an indicator derived from economy-wide Material Flow Accounting, which is based upon the concept of socio-industrial metabolism (e.g. Fischer-Kowalski 1998).

#### Methodological foundation

The basic methodology for setting up economy-wide material flow accounts and derived indicators has been manifested by Eurostat in 2001. Recent and still ongoing developments concern harmonisation with the System of National Accounts (SNA), and practical guidance for deriving the data and indicators for direct materials to be laid down in a joint Eurostat/OECD Implementation Guide (Eurostat 2009). International and national use of the methodology have been and are harmonised (Destatis is represented in the Eurostat MFA Task Force where decisions related to methodological development are prepared and decided).

### 3.1.4 Practical application

#### International

Eurostat has published on NewCronos<sup>2</sup> a data set of material flows for the EU-27, its Member States, Switzerland and Norway for the period 2000 to 2005. Also the OECD has published material flow data for its Member Countries. Besides, several national statistical institutes published material flow data and indicators –some even on a regular basis. And, some research institutes keep their own data bases, like the Wuppertal Institute, the IFF a.o.

#### National

The Federal Statistical Office Germany (Destatis) publishes annually, in autumn, material flow data under the heading “raw materials” (eg in 2009 with data for 1994 to 2007 – data back to 1991 can be obtained from older publications). These data are in line with the Eurostat standard. DMI can be aggregated from the totals of the categories “used domestic extraction” plus “imports of products by degree of manufacturing”. ([http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Navigation/Publikationen/Fachveroeffentlichungen/UGR,templateId=renderPrint.psml\\_\\_nnn=true](http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Navigation/Publikationen/Fachveroeffentlichungen/UGR,templateId=renderPrint.psml__nnn=true))

#### Effort for compilation (includes effort for DMC)

The timeframe for deriving the DMI (and DMC) indicator depends on prior knowledge and preparation. Ideally, a hands-on training workshop has been attended and one is familiar with both the practical implementation guide and the MFA questionnaire. In this case, time requirement is mainly determined by data availability (sometimes complicated by data transfer between different departments, or by necessary contacts with external experts), quality control of the data and plausibility checks. Given rather ideal conditions, a first compilation for DMI (and DMC) may require 3 to 4 person months. For subsequent work on these indicators 1 to 2 person months might be sufficient (depending also on methodological developments which could lead to necessary revisions of the former database).

#### Data availability

In the best case, DMI is set up by national statistics possibly involving national experts for the critical cases like construction minerals and fodder requirements of livestock. The following table provides an overview of the most advanced DMI data sets currently available, including providers (OECD and Eurostat) and coverage. These data sets are freely available for everyone. The Eurostat data are planned to be updated bi-annually through a Eurostat ew-MFA Questionnaire sent out to National Statistics Institutes

<sup>2</sup> <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/environment/data/database>

(NSI), and the next data update is expected for 2010. Eurostat currently does not provide data for the EU aggregates because of missing, respectively inconsistent data for extra-EU imports by countries. Furthermore, Eurostat does not publish the data for Luxembourg and The Netherlands, as well as for Italy 2004 and Malta 2000-2003. Besides, there are also data available for China and some other Non-OECD countries (OECD 2008). Furthermore, some NSI have their own data base with partly more detailed material flows data and longer time series (e.g. the Federal Statistical Office Germany with data for 1991 to 2007 as of 2009 – see above). In case DMI (and DMC) is set up from international databases one may refer to recommendations given in the Eurostat compilation guidelines (Eurostat 2009). In short, domestic extraction used can be derived from Eurostat or FAO statistics, and/or from mineral statistics of the British Geological Survey (BGS) or the U.S. Geological Survey (all available for free). Important is that data are in line with the Eurostat accounting principles, and checked for plausibility by applying the check procedures outlined in Eurostat 2009. Data for foreign trade (here imports for DMI, concerns also exports for DMC) of EU member countries can be obtained from the Eurostat Comext online database (for free) and should be sorted by major material groups according to the structure given in Eurostat 2009. Imports (and exports) by non-EU countries can be taken either from national foreign trade statistics (if accessible) or from the international UN Comtrade database which, however, requires conversion of some units to metric tonnes and respective experience of the compilers. Partly, foreign trade data are also available from the FAO online database (biomass) and from IEA energy statistics and BGS or USGS mineral statistics (fossil fuels, metals, non-metallic minerals). However, data for highly manufactured commodities need to be taken from foreign trade statistics.

Tab. 3-1: DMI data available from the Eurostat and OECD data bases

	Direct Material Input (DMI)		
	OECD Data set	Eurostat Data set	
	1980, 1990, 2000, 2005	1970-2000	2000-2005
Canada			
Mexico			
USA			
Japan			
Korea			
Australia			
New Zealand			
EU-27			
EU-15			
Austria			
Belgium	includes Luxembourg	includes Lux.	
Bulgaria			
Cyprus			
Czech Republic			
Denmark			
Estonia			
Finland			
France			
Germany			
Greece			
Hungary			
Iceland			
Ireland			
Italy			2000-2004
Latvia			
Lithuania			
Luxembourg			
Malta			2004-2005
Netherlands			
Norway			
Poland			
Portugal			
Romania			
Slovakia			
Slovenia			
Spain			
Sweden			
Switzerland			
Turkey			
UK			

Data sources:

OECD Environmental Data Compendium: Material Resources:

[http://www.oecd.org/document/49/0,3343,en\\_2649\\_34441\\_39011377\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/49/0,3343,en_2649_34441_39011377_1_1_1_1,00.html)

Eurostat NewCronos:

<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/environment/data/database>



### Robustness, accuracy

The concept of MFA has been developed since the early 1990s, towards an internationally harmonised basis (OECD 2008 – Vol. I). Still, a consistent and internationally harmonised method to derive data truly comparable across countries and consistent with the SNA/SEEA is under development by Eurostat and OECD. Uncertainties mainly arise through non-standardised and insufficient data in particular for biomass and construction materials. Once the standardisation methods have been successfully implemented, which should be accomplished within the next two years (end of 2011), the results should be more accurate and robust enough to allow meaningful comparison and interpretation also of the major components of DMI across countries and time. DMI is not additive across countries. For example, for EU totals of DMI the intra-EU foreign trade flows must be netted out from the DMIs of Member States. (Eurostat 2001).

### 3.1.5 Relation to impacts

DMI does not explicitly cover specific environmental impacts associated with material resource use like acidification. It is, however, between countries correlated with TMR which represents an indicator of generic environmental pressure. It may also be correlated with other specific pressures or pressure indices such as EMC. In any case DMI cannot capture life-cycle related impacts sufficiently as indirect flows of imports are not considered.

### 3.1.6 Policy relevance

GDP/DMI can measure (direct) material productivity (OECD 2008). DMI can thus be used to indicate the decoupling of direct material use from economic growth. Direct material productivity indicates how much economic value could be produced per unit of material input by domestic production and consumption activities, including the materials used for export (which corresponds to the fact that export contributes significantly to GDP). In 2003, the Japanese government adopted its Fundamental Plan for Establishing a Sound Material-Cycle Society (SMS). The Plan includes three quantitative time-bound targets to be achieved by the year 2010 compared to 2000, one of which is to improve resource productivity (GDP/DMI) by 40% (OECD 2008).

### 3.1.7 Scientific relevance

There are many scientific publications dealing with material flow indicators including DMI. An overview is given, for example, in OECD 2008, Schütz and Bringezu 2008, Bringezu et al. 2009.

### 3.1.8 Development requirements and perspectives

DMI is a clearly defined indicator derived from a well established concept and methodology. Development requirements are for full harmonisation of methodology and data with SNA/SEEA principles and for fully standardised data acquisition across countries. The perspectives to reach these goals are good in view of combined efforts undertaken by Eurostat, OECD, UN and international experts in the field.

### References

- Bringezu, S. / van de Sand, I. / Schütz, H. / Bleischwitz, R. / Moll, S. ( 2009): Analysing global resource use of national and regional economies across various scales. In: Bringezu, S. and Bleischwitz, R. Sustainable Resource Management – Global trends, visions and policies, p.10-51. Greenleaf Publishing. Sheffield.
- Eurostat (2001): Economy-wide material flow accounts and derived indicators. Luxembourg.
- Eurostat (2009): Economy-wide Material Flow Accounts: Compilation Guidelines for reporting to the 2009 Eurostat questionnaire. Luxembourg.
- Fischer-Kowalski, M. (1998): Society's metabolism: The intellectual history of material flow analysis. Part I, 1860-1970. *Journal of Industrial Ecology* 2.1: 61-78.
- OECD (2008): Measuring material flows and resource productivity: Volume I. The OECD Guide; Volume III. Inventory of Country Activities. Paris.
- Schütz, H. / Bringezu, S. (2008): Resource consumption of Germany – indicators and definitions. Federal Environment Agency (Umweltbundesamt), Dessau-Roßlau/Germany. UBA-Texte 08/08.

## **3.2 Domestic Material Consumption – DMC**

### **3.2.1 Definition**

Domestic material consumption (DMC) measures the amount of material directly used in an economy for its own consumption. DMC is defined in the same way as other key physical indicators such as gross inland energy consumption. DMC equals DMI minus exports (Eurostat 2001).

### **3.2.2 Objectives**

DMC stands for the direct material resource basis for consumption of the economy, ie all material input within one year to manufacture or import products for domestic consumption. The volume of DMC will be released sooner or later as processed waste or emissions on the territory of the country.

DMC, like DMI, does not contain unused domestic extraction and indirect material flows of imports and exports. It does not explicitly indicate environmental impacts.

### **3.2.3 Conceptual and methodological foundation**

#### Conceptual foundation

DMC is an indicator derived from economy-wide Material Flow Accounting, which is based upon the concept of socio-industrial metabolism (see DMI).

#### Methodological foundation

The basic methodology for setting up economy-wide material flow accounts and derived indicators has been manifested by Eurostat in 2001. Recent and still ongoing developments concern harmonisation with the System of National Accounts (SNA), and practical guidance for deriving the data and indicators for direct materials to be laid down in a joint Eurostat/OECD Implementation Guide (Eurostat 2009). International and national use of the methodology have been and are harmonised (Destatis is represented in the Eurostat MFA Task Force where decisions related to methodological development are prepared and decided).

### 3.2.4 Practical application

#### International

Eurostat has published on NewCronos<sup>3</sup> a data set of material flows for the EU-27 and its Member States, and for Switzerland and Norway for the period 2000 to 2005. Also the OECD has published material flow data for its Member Countries. Besides, several national statistical institutes published material flow data and indicators –some even on a regular basis. And, some research institutes keep their own data bases, like the Wuppertal Institute, the IFF a.o.

#### National

The Federal Statistical Office Germany (Destatis) publishes annually in autumn material flows data under the heading “raw materials” (eg in 2009 with data for 1994 to 2007 – data back to 1991 can be obtained from older publications). These data are in line with the Eurostat standard. DMC can be derived from DMI as described above minus the total of the category “exports of products by degree of manufacturing”. [http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Navigation/Publikationen/Fachveroeffentlichungen/UGR,templateId=renderPrint.psml\\_\\_nnn=true](http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Navigation/Publikationen/Fachveroeffentlichungen/UGR,templateId=renderPrint.psml__nnn=true)

#### Effort for compilation

The timeframe for deriving the DMC indicator has been included here in the effort for the DMI indicator as both indicators are usually accounted in one procedure (see above under DMI).

#### Data availability

The following table provides an overview of the most advanced DMC data sets currently available, including providers (OECD and Eurostat) and coverage. These data sets are freely available for everyone. The Eurostat data are planned to be updated bi-annually through a Eurostat ew-MFA Questionnaire to National Statistics Institutes (NSI), the next data update is expected for 2010. Contrary to DMI, the data for EU-15 and EU-27 can be derived from the totals of the individual Member States' DMC. Eurostat currently does not publish the data for Luxembourg and The Netherlands; for Italy only for 2004 and Malta 2000-2003. Besides, there are also data available for China and some other Non-OECD countries (OECD 2008). Furthermore, some NSI have their own data base with partly more detailed material flows data in longer time series (e.g. the Federal Statistical Office Germany).

---

<sup>3</sup> <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/environment/data/database>

Tab. 3-2: DMC data available from the Eurostat and OECD data bases

	Domestic Material Consumption (DMC)		
	OECD Data set	Eurostat Data set	
	1980, 1990, 2000, 2005	1970-2000	2000-2005
Canada			
Mexico			
USA			
Japan			
Korea			
Australia			
New Zealand			
EU-27			
EU-15			
Austria			
Belgium	includes Luxembourg	includes Lux.	
Bulgaria			
Cyprus			
Czech Republic			
Denmark			
Estonia			
Finland			
France			
Germany			
Greece			
Hungary			
Iceland			
Ireland			
Italy			2000-2004
Latvia			
Lithuania			
Luxembourg			
Malta			2004-2005
Netherlands			
Norway			
Poland			
Portugal			
Romania			
Slovakia			
Slovenia			
Spain			
Sweden			
Switzerland			
Turkey			
UK			

Data sources:

OECD Environmental Data Compendium: Material Resources:

[http://www.oecd.org/document/49/0,3343,en\\_2649\\_34441\\_39011377\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/49/0,3343,en_2649_34441_39011377_1_1_1_1,00.html)

Eurostat NewCronos:

<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/environment/data/database>

### Robustness, accuracy

See DMI. Contrary to DMI, DMC is additive across countries, for example, the DMC of all EU-27 Member Countries can be added up to DMC of the EU-27 aggregate.

### 3.2.5 Relation to impacts

DMC does not explicitly cover specific environmental impacts of material resource use. It is, however, between countries roughly correlated with impact indices such as the EMC (van der Voet et al. 2005). In any case DMC cannot capture life-cycle related resource requirements and impacts sufficiently as indirect flows of imports are not considered.

### 3.2.6 Policy relevance

DMC is currently used by the EC as denominator to derive the headline indicator for “resource productivity” under key challenge 3: sustainable consumption and production (Eurostat 2009), expressed as GDP/DMC (in constant Euro per kg). In view of the same shortcomings as described for the DMI, it is acknowledged by the EC that “DMC is used as a proxy for the more relevant indicator, total material consumption (TMC), which includes upstream hidden flows related to imports and exports of raw materials, finished and semi-manufactured products. The EU level TMC is still under development as only a few Member States are currently able to calculate it. In addition, DMC and TMC are only rough proxies for measuring the overall environmental impact of resource use, as materials have very different impacts on the environment. Further development to depict the environmental impacts of material use is needed. (Eurostat 2009b)”

### 3.2.7 Scientific relevance

There are many scientific publications dealing with material flow indicators including DMC. See DMI.

### 3.2.8 Development requirements and perspectives

DMC is a clearly defined indicator derived from a well established concept and methodology. Development requirements are for full harmonisation of methodology and data with SNA/SEEA principles and for fully standardised data acquisition across countries. The perspectives to reach these goals are good in view of combined efforts undertaken by Eurostat, OECD, UN and international experts in the field.

## References

- Bringezu, S. / van de Sand, I. / Schütz, H. / Bleischwitz, R. / Moll, S. ( 2009): Analysing global resource use of national and regional economies across various scales. In: Bringezu, S. and Bleischwitz, R. Sustainable Resource Management – Global trends, visions and policies, p.10-51. Greenleaf Publishing. Sheffield.
- Eurostat (2001): Economy-wide material flow accounts and derived indicators. Luxembourg.
- Eurostat (2009b): Sustainable development in the European Union - 2009 monitoring report of the EU sustainable development strategy.
- OECD (2008): Measuring material flows and resource productivity: Volume I. The OECD Guide; Volume III. Inventory of Country Activities. Paris.
- Van der Voet, E. / van Oers, L. / Moll, S. / Schütz, H. / Bringezu, S. / de Bruyn, S. / Sevenster, M., Warringa, G. (2005): Policy Review on Decoupling: Development of indicators to assess decoupling of economic development and environmental pressure in the EU-25 and AC-3 countries. CML report 166, Leiden: Institute of Environmental Sciences (CML), Leiden University - Department Industrial Ecology. [www.leidenuniv.nl/cml/ssp/](http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/)

### **3.3 Total Material Requirement – TMR**

#### **3.3.1 Definition**

“Total Material Requirement (TMR) – includes, in addition to DMI, the unused domestic extraction plus the (indirect) material flows that are associated to imports but that take place in other countries. It measures the total ‘material base’ of an economy. Adding indirect flows converts imports into their ‘primary resource extraction equivalent’.” (Eurostat 2001).

#### **3.3.2 Objectives**

TMR stands for the total global material resource basis for production and consumption of the economy, ie all primary materials that have been extracted from the natural environment within one year to manufacture products for domestic consumption or export. The relation of domestic and foreign TMR allows to monitor the shift of resource supply and associated environmental burden between regions. TMR may be interpreted as indicator of generic environmental pressure which grows with the turnover of primary materials (analogously to primary energy and water).

TMR does not comprise water and air. It does not indicate specific environmental impacts.

#### **3.3.3 Conceptual and methodological foundation**

##### Conceptual foundation

TMR is an indicator derived from economy-wide Material Flow Accounting, which is based upon the concept of socio-industrial metabolism (see DMI).

##### Methodological foundation

TMR is a basic constituent and most comprehensive indicator within the framework of economy-wide material flow accounts and derived indicators. The method has been manifested by Eurostat in 2001, and adopted by OECD (2008). Further methodological reference has been provided by Bringezu/Schütz (2001) for EEA and in a couple of consulting projects for national statistics institutes (NSI of Denmark, Finland, UK, Italy, France, Switzerland). Unlike DMI and DMC, there is currently no practical guidance publically available for TMR yet. Most studies draw from earlier work of the Wuppertal Institute (see e.g. Bringezu et al. 2003). Some NSI have implemented the method like the ONS (UK), BFS (Switzerland) IFEN (France), and ISTAT (Italy). Italy has, for instance, also developed the methodology for application to the country's specific data



situation (eg in terms of data available to account for soil excavation), a major publication in this context is Barbiero et al. 2003.

### 3.3.4 Practical application

#### International

There are some data sets published once or regularly at national statistics (see below), but there is no central collection of TMR data at the level of an international organisation. A PhD study at University of Cologne used the UN Comtrade database for imports (and exports) along with coefficients of the Wuppertal Institute to account for indirect material flows, plus data for domestic used and unused extraction from the global material flows database of SERI<sup>4</sup>, to derive TMR for almost all countries or regions of the world (Dittrich 2008).

#### National

TMR for Germany has been derived for 1991 to 2004 in a study for the Federal Environment Agency (Schütz and Bringezu 2008) building upon DMI published by Destatis (see above).

#### Effort for compilation

The timeframe for deriving the TMR indicator builds upon work requirements described for the DMI indicator. Deriving unused domestic extraction and indirect material flows of imports is not yet described in a standard methodological guide with practical guidelines and reference data. Ideally, this work is prepared by contacting and interviewing experts in the field of ew-MFA and in particular for accounting for unused and indirect material flows.

In case of Germany, unused extraction is largely available from statistics and/or estimated using default coefficients, and data for direct imports are available by the detailed structure (HS-CN 6-digits) of the Eurostat foreign trade statistics Comext which allows to estimate indirect flows with the use of coefficients from the Wuppertal Institute, a first compilation for TMR (and TMC in case the same coefficients as for imports are used for exports) may require 5 to 6 person months (including work for DMI resp. DMC). For subsequent maintenance and up-date on these indicators 2 to 3 person months might be sufficient (including DMI and DMC). For other countries, starting with advanced ew-MFA, which may need develop country specific coefficients, significant preparatory development work will be necessary which might be at the order of 6 to 12 person months involving LCI data expert knowledge (depending on the scope and data availability). Subsequent efforts to maintain and up-

---

<sup>4</sup> <http://www.materialflows.net/>

date this LCI database may require at the order of additional 2 to 3 person month per year.

#### Data availability

The following table provides an overview of the TMR data sets that are currently available, including providers and coverage. Most data sets are freely available for everyone. Another overview of TMR activities across OECD- and Non-OECD-countries is given in OECD 2008. Most data are available through published studies (see e.g. Bringezu et al. 2009b). Official TMR data have been provided by national agencies for France, Italy, Switzerland, and UK. UK provides TMR on an annual basis through its official government statistics<sup>5</sup>.

Data for compiling the TMR indicator build upon data required to derive DMI (see above). In addition, data (coefficients) to account for indirect material flows of imports are needed (in case the coefficients approach is chosen what has been the case in TMR studies performed so far). Some of these coefficients are available from the Wuppertal Institute MIT-values database<sup>6</sup>. A rather comprehensive coefficients database, which is further organised after the statistical classification of Eurostat foreign trade statistics to be applicable to direct imports data, is available from Wuppertal Institute on request<sup>7</sup>.

---

<sup>5</sup> [http://www.statistics.gov.uk/downloads/theme\\_environment/EA-June09.pdf](http://www.statistics.gov.uk/downloads/theme_environment/EA-June09.pdf)

<sup>6</sup> [http://www.wupperinst.org/info/entwd/index.html?beitrag\\_id=437&bid=169](http://www.wupperinst.org/info/entwd/index.html?beitrag_id=437&bid=169)

<sup>7</sup> Contact: H. Schütz

Tab. 3-3: TMR data available from data bases

	Total Material Requirement (TMR)	
	Period	Holder
USA	1975 - 2000	World Resources Institute
China	1989 - 2002	Northeastern University, Shenyang
Japan	1975 - 1994	NIES Japan
EU-15	1980 - 2000	Wuppertal Institute
Czech Republic	1990 - 2005	Charles University Environment Center Prague
Denmark	1981, 1990, 1997	National Statistics
Finland	1970 - 2005	Thule Institute, University Oulu
France	1990 - 2006	IFEN France
Germany	1991 - 2004	Wuppertal Institute
Hungary	1992 - 2003	cited in OECD 2008
Italy	1980 - 2004	National Statistics
Netherlands	1975, 1980, 1985, 1990-1993	CML Leiden
Poland	1992, 1995, 1997	Wuppertal Institute
Portugal	2000 - 2002	cited in OECD 2008
Spain	1995 - 2000	National Statistics
Sweden	1993 - 1998	cited in OECD 2008
Switzerland	1990 - 2006	National Statistics
UK	1970 - 2007	National Statistics

### Robustness, accuracy

Concerning the direct material part of TMR - refer to the DMI indicator above. Unused domestic extraction data can be of very different quality across countries, being either available from official (mining) statistics or based on estimates by e.g. using derived coefficients for another country. Coefficients to derive indirect material flows of im- and exports mostly refer to specific production systems (like Germany, the EU or World) and, like most LCI data, would need to be up-dated to represent technological development over time. Nevertheless, sensitivity analysis shows that the order of magnitude of TMR can be accounted for with sufficient accuracy (in particular when compared to GDP accounting). Providing TMR the way described has been found to be a suitable indicator for the total global material resource use of an economy also by national statistical institutes in France, Italy, Switzerland and the UK. TMR, like DMI, is not additive across countries. TMR of the EU can only be derived from the extra-EU trade of the European Union by including their indirect material flows. Regarding the existing official data for TMR, comparability across countries is not yet fully granted because some countries did include soil erosion in TMR (which, according to Eurostat 2001, should be treated as a memorandum item and not be included in the indicator) and some did not; some did not account in a sufficient way for earth excavation (for construction works) and dredging; while others used insufficient coefficients database for indirect flows of biomass products.

### **3.3.5 Relation to impacts**

TMR does not explicitly cover impacts of resource use. However, as it measures total primary resource extraction it can be interpreted as indicator of generic environmental pressure which is associated with the turnover of these flows in the affected environment (Bringezu et al. 2003, 2009). The amount of TMR equals the amount of wastes and emissions from mining to final waste disposal. It determines the magnitude of landscape changes by mining, infrastructure development and waste deposition.

### **3.3.6 Policy relevance**

GDP/TMR measures total resource productivity of a country (OECD 2008). Among the material flow indicators derived from ew-MFA, TMR represents the most comprehensive resource use indicator for the physical basis of an economy that generates its wealth (GDP) from global resources, while providing goods and services for final domestic final consumption and exports. A quantitative, time-bound policy target addressing TMR has been set up in Italy to achieve a reduction of the total material requirement (TMR) of 25% by 2010, 75% by 2030 and 90% by 2050 (Environmental Action Plan for sustainable development in Italy). TMR is used as an indicator to monitor progress of the promotion of Resource Efficiency in Japan through 3R (Reduce, Reuse and Recycle) policies.

### **3.3.7 Scientific relevance**

There are a couple of scientific publications dealing with material flow indicators including TMR. Overviews are given, for example, in Bringezu et al. 2003, Schütz and Bringezu 2008 and OECD 2008.

### **3.3.8 Development requirements and perspectives**

TMR is a clearly defined indicator derived from a well established concept and methodology within the Eurostat/OECD ew-MFA framework. Further international implementation will require guidance for full harmonisation of methodology and the provision of reference data across countries. NSI are expected to account for domestic unused extraction after having established DMI/DMC, also to provide sufficient information on waste flows. For the consideration of indirect flows of imports, to reach a similar level of accuracy like in Germany, NSI would need assistance in the form of a data base with coefficients for internationally traded products (Giljum et al. 2008).

## References

- Barbiero, G. / Camponeschi, S. / Femia, A. / Greca, G. / Macrì, A. / Tudini, A. / Vannozzi, M. (2003): 1980-1998 Material-Input-Based Indicators Time Series and 1997 Material Balance of the Italian Economy, ISTAT, Rome.
- Bringezu, S. / Schütz, H. / Moll, S. (2003): Rationale for and Interpretation of Economy-wide Material Flow Analysis and Derived Indicators. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 7, no. 2, p. 43-64.
- Bringezu, S. / Schütz, H. / Saurat, M. / Moll, S. / Acosta-Fernández, J. / Steger, S. (2009b): Europe's resource use. Basic trends, global and sectoral patterns and environmental and socioeconomic impacts. In: Bringezu, S. and Bleischwitz, R. *Sustainable Resource Management – Global trends, visions and policies*, p.10-51. Greenleaf Publishing. Sheffield.
- Dittrich, M. (2008): *Physische Handelsbilanzen. Verlagert der Norden Umweltbelastungen in den Süden?* Inaugural-Dissertation. Universität zu Köln.
- Eurostat (2001): *Economy-wide material flow accounts and derived indicators*. Luxembourg.
- Giljum, S. / Hinterberger, F. / Biermann, B. / Wallbaum, H. / Bleischwitz, R. / Bringezu, S. / Liedtke, C. / Ritthoff, M. / Schütz, H. (2008): *Towards an international data base on resource intensity*. Aachen Foundation Kathy Beis, Aachen.
- OECD (2008): *Measuring material flows and resource productivity: Volume I. The OECD Guide; Volume III. Inventory of Country Activities*. Paris.
- Schütz, H. / Bringezu, S. (2008): *Resource consumption of Germany – indicators and definitions*. Federal Environment Agency (Umweltbundesamt), Dessau-Roßlau/Germany. UBA-Texte 08/08.

## **3.4 Total Material Consumption – TMC**

### **3.4.1 Definition**

Total material consumption (TMC) measures the total primary material use for domestic consumption, including unused extraction and indirect flows of imports, excluding indirect flows of exports. TMC equals TMR minus exports and their indirect flows (Eurostat 2001).

### **3.4.2 Objectives**

TMR stands for the total global material resource basis for the consumption of an economy, ie all primary materials that have been extracted from the global environment within one year to manufacture products for domestic consumption. The relation of TMC to the exports and their indirect flows indicates how much of the TMR is associated to domestic consumption vs. being used to produce the exports. TMC can be used for international comparisons of per capita global resource consumption of countries.

TMC does not comprise water and air inputs. The indicator is not designed to capture specific environmental impacts.

### **3.4.3 Conceptual and methodological foundation**

#### Conceptual foundation

TMC is an indicator derived from economy-wide Material Flow Accounting, which is based upon the concept of socio-industrial metabolism (see DMI).

#### Methodological foundation

TMC is a basic constituent and most comprehensive indicator within the framework of economy-wide material flow accounts and derived indicators. The method has been manifested by Eurostat in 2001, and adopted by OECD (2008). Further methodological reference has been provided by Bringezu/Schütz (2001) and in a couple of consulting projects for national statistics (Denmark, Finland, UK, Italy, France, Switzerland). Contrary to DMI and DMC, there is currently no practical guidance in public available for TMC. Most studies draw from earlier work of the Wuppertal Institute (see e.g. Bringezu et al. 2003). A recent study by WI, SERI and GWS (2008) has proposed to apply a combination of methods, ie the coefficients approach (see TMR) and a model-based input-output approach, to derive the TMC indicator in a more comprehensive way.

### 3.4.4 Practical application

#### International

There are some data sets published once or regularly at national statistics (see below), but there is no central collection of TMC data at the level of an international organisation. A PhD study at University of Cologne proposed the use of the UN Comtrade database for imports and exports along with coefficients of the Wuppertal Institute to account for indirect material flows, plus data for domestic used and unused extraction from the global materialflows database of SERI (<http://www.materialflows.net/>), to derive TMC for almost all countries or regions of the world (Dittrich 2008).

#### National

TMC for Germany has been derived for 1991 to 2004 in a study for the Federal Environment Agency (Schütz and Bringezu 2008) building upon DMC published by Destatis (see above) and using the coefficients approach. The above mentioned combined CA and IO method to derive TMC has been applied as an example to account for the TMC of Germany in 2000 (WI et al. 2008).

#### Effort for compilation

The timeframe for deriving the TMC indicator builds upon work requirements described for the TMR indicator. Requirements for TMC are similar to TMR in case the coefficients approach is chosen. In case TMC is derived through input-output calculation or via a global multi-regional input-output model, time requirements depend on the availability of such tools.

#### Data availability

The following table provides an overview of the TMC data sets that are currently available, including providers and coverage. Most data sets are freely available for everyone through published studies (see e.g. Bringezu et al. 2009b). Official TMC data are available for France, Italy, and Switzerland. It is quite obvious that data coverage for TMC is less than for TMR. A major reason is that people refrained from applying the same coefficients for indirect material flows of exports as for imports. On the other hand, only few accountants are experienced to use input-output calculation to derive TMC estimates this way.

Data for compiling the TMC indicator build upon data required to derive DMC (see above) and are similar to what has been written about TMR in case the coefficients approach is followed. Using a global IO model is restricted to related experts (GWS in the case of Germany – see WI et al. 2008).

Tab. 3-4: TMC data available from data bases

	Total Material Consumption (TMC)	
	Period	Holder
USA	1991	World Resources Institute
EU-15	1980 - 2000	Wuppertal Institute
Czech Republic	1990 - 2005	Charles University Environment Center Prague
Denmark	1981, 1990, 1997	National Statistics
Finland	1970 - 2005	Thule Institute, University Oulu
France	1990 - 2006	IFEN France
Germany	1991 - 2004	Wuppertal Institute
Italy	1980 - 2004	National Statistics
Netherlands	1975, 1980, 1985, 1990-1993	CML Leiden
Spain	1995 - 2000	National Statistics
UK	1970 - 2007	National Statistics

### Robustness, accuracy

Concerning the direct material part of TMC refer to the DMC indicator above. For unused domestic extraction and coefficients to derive indirect material flows of imports see the discussion under TMR. Official TMC data are available for France, Italy, and Switzerland. Comparability across countries is, however, not necessarily granted, for the same reasons as described above for TMR. A specific task for TMC is the calculation of the indirect material flows of exports which can be achieved (1) as first approximation by using the same coefficients as for imports; by establishing country specific coefficients, either by (2) LCA type approaches (MIPS analysis), or (3) using input-output techniques, or (4) applying a multi-regional global input-output model like the Global Resource Accounting Model (GRAM) of GWS Osnabrück/Germany (Wuppertal Institute et al. 2008). Using (1) is rather unspecific but is supposed to deliver still a rough and direction safe estimate. (2) requires LCA data banks covering unused extraction. Using (3) and (4) is hampered by less details for materials which may differ significantly by their magnitude of indirect flows, with (4) being naturally restricted to the use by the model owner, while (3) requires special input-output skills.

### 3.4.5 Relation to impacts

See TMR.



### **3.4.6 Policy relevance**

TMC has been proposed by the European Commission as denominator (GDP/TMC) for the headline (or level-1) indicator “Resource productivity” under the theme 2 “Sustainable Consumption” (Sub-theme 'Resource use and waste'), indicating the extent of decoupling of material consumption from economic growth in terms of GDP (see reference under DMC above).

One may argue that TMC should be used for measuring absolute resource consumption which can be compared on a per capita basis, whereas TMR would be more adequate to measure resource productivity (GDP/TMR) because it covers all resources used for production, including those for exports (which contribute significantly to GDP).

### **3.4.7 Scientific relevance**

There are a couple of scientific publications dealing with material flow indicators including TMC. Overviews are given, for example, in Bringezu et al. 2003 and 2009b and OECD 2008.

### **3.4.8 Development requirements and perspectives**

TMC is a clearly defined indicator derived from a well established concept and methodology within the Eurostat/OECD eMFA framework. Further implementation will require further refinement for determination of the indirect material flows part. Results from the INDI-LINK project (Wuppertal Institute et al. 2008) showed that the best methodology should make use of the major advantages of the two major approaches which are the high level of detail for the coefficients approach (CA), and the fact that indirect resource requirements can be calculated for all types of products, independent from the level of manufacturing by the input-output approach (IO). A future best available method will thus likely combine the coefficient approach for a selected number of raw materials and semi-manufactured products with an IO approach for higher-manufactured products (where the IO approach should apply a multi-regional IO-MFA model). The perspectives of further development are depending on research funding and decisions to provide the indicator by official statistics..

## References

- Bringezu, S. / Schütz, H. / Moll, S. (2003): Rationale for and Interpretation of Economy-wide Material Flow Analysis and Derived Indicators. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 7, no. 2, p. 43-64.
- Bringezu, S. / Schütz, H. / Saurat, M. / Moll, S. / Acosta-Fernández, J. / Steger, S. (2009b): Europe's resource use. Basic trends, global and sectoral patterns and environmental and socioeconomic impacts. In: Bringezu, S. and Bleischwitz, R. *Sustainable Resource Management – Global trends, visions and policies*, p.10-51. Greenleaf Publishing. Sheffield.
- Dittrich, M. (2008): *Physische Handelsbilanzen. Verlagerung der Norden Umweltbelastungen in den Süden?* Inaugural-Dissertation. Universität zu Köln.
- Schütz, H. / Bringezu, S. (2008): Resource consumption of Germany – indicators and definitions. Federal Environment Agency (Umweltbundesamt), Dessau-Roßlau/Germany. UBA-Texte 08/08.
- Eurostat (2001): *Economy-wide material flow accounts and derived indicators*. Luxembourg.
- Wuppertal Institute, SERI, GWS (2008): Comparing coefficient and input-output approach to calculate Total Material Consumption (TMC). A case study on TMC of Germany in 2000. INDI-LINK: Indicator-based evaluation of interlinkages between different sustainable development objectives. Project report unpublished.

### **3.5 DMI and DMC measured as Raw Material Equivalents – RME<sup>8</sup>**

#### **3.5.1 Definition**

The DMI and DMC measured as Raw Material Equivalents also follow closely the general definition as given in the boxes above. The conventional DMI and DMC include domestic used extraction plus (direct) imports respectively (direct) exports. The RME corrected DMI and DMC include additionally the (used) raw materials extractions associated with the imported and exported materials and goods.

#### **3.5.2 Objectives**

DMI and DMC as RME represent the direct and indirect material use for the production and consumption of all goods manufactured in an economy or imported into the economy (DMI-RME) or only consumed in an economy (DMC-RME). It treats imported and exported goods as if they were entirely extracted domestically or – in other words – the production of finished goods is considered with all the material inputs (this could be expressed as material backpack) in the country of origin (export country). Similar to the uncorrected DMI and DMC it covers the same types of raw materials.

DMI and DMC do not contain unused extractions whether domestic or imported. It does not indicate specific environmental impacts but may represent them.

#### **3.5.3 Conceptual and methodological foundation**

##### Conceptual foundation

DMI and DMC are indicators derived from economy-wide Material Flow Accounting but are corrected on the basis for the imports and exports with process data from the specific production of goods (process-chain-thinking) or with the application of national production figures (from IOTs) to the imports and exports

##### Methodological foundation

In the concept of the conventional DMI the domestic extractions and imports are treated differently. While the domestic extractions include all direct and indirect used material (e.g. metal ore) the imported goods are taken into account with their real mass entering the frontiers of an economy (e.g. refined metal). The uncorrected DMI adds up domestically extracted raw materials to imported refined and finished goods. In order to solve this inhomogeneous approach the imported goods (exported goods for DMC) are corrected with the (used) material extraction which has occurred in the country of pro-

---

<sup>8</sup> provided by IFEU

duction. This approach has been suggested in national and international discussions (Schoer 2006, Schoer 2008, Giegrich 2008, Buyny 2009) and is currently tested for EU 27.

### **3.5.4 Practical application**

#### National

A research project for measuring the raw material productivity of Germany showed the unsymmetrical treatment of national extraction and import (UBA 2006). The mere addition of e.g. domestically extracted metal ore and imported refined metals demonstrated the difficulty to interpret the conventional DMI (respectively DMC). Consequently UBA commissioned two studies to give practical solutions on how to include externally extracted material which is related to the imports to Germany (or exports from Germany in the case of DMC). Destatis and IFEU-Institut developed two different approaches how to calculate Raw Material Equivalents for imports and exports and apply them to the national MFA system.

#### International

Comparable approaches for correcting the DMI and DMC with Raw Material Equivalents had been found in the Czech Republic and in Austria. They had been presented in a conference in Prague in 2008. Eurostat commissioned a study to apply the RME correction for the DMI and DMC of EU 27 in 2009 to a consortium of IFEU-Institut, SSG and Charles University Prague. It is in the stage of research how the correction can be applied under given data sources in Europe.

#### Effort for compilation

Firstly the DMI and DMC corrected with RME includes all the efforts described above for the conventional DMI and DMC. They are the starting point for the correction. Depending on the applied methodology for the correction a medium to large number of processes must be modelled in process chains. The information for process models is not easily available and their data quality differs considerably. So a high effort has to be assumed for starting the correction and a moderate effort is needed to update the information about processes after some years. If procedures can be made automatic the effort besides the process modelling upfront can be considered as moderate. But it is premature to finally judge about the effort for compilation of DMI and DMC corrected with RME.

#### Data availability

As already stated the RME corrected DMI and DMC requires all the basic statistical data as described in the chapters above for uncorrected DMI and DMC.

Then it additionally needs information on how a set of basic raw materials is manufactured in the countries importing to an economy. In the case of economies with small stocks of raw materials like the EU mainly the metals are imported. Therefore they need a modelling on how much raw materials are extracted and used to produce e.g. a given amount of refined metal which is imported into the EU. In principle an average of raw material production of the different countries imported to an economy is needed. It is difficult and costly to generate these data due to the need of detailed information. Nevertheless data banks exist (e.g. Ecolnvent) which provide some information with different degrees of data quality and completeness.

For the application of IOT (one approach) to generate the RME it is necessary to know the flows of the raw materials through the national economy which is used as a pattern for the external production for finished products. In this case appropriate statistical information is needed. Besides metals the information for the production of biomass which can only be produced in e.g. tropical countries (e.g. bananas) is necessary and cannot be derived solely from a national IOT of the importing country.

#### Robustness, accuracy

The concept of RME corrected DMI and DMC is fairly new and needs further research to understand the robustness and accuracy of the calculations.

### **3.5.5 Relation to impacts**

Also the RME corrected DMI and DMC do not cover directly environmental impacts. Nevertheless it can be demonstrated that a certain representation of some impacts is given. While energy related impacts (Global warming, eutrophication, etc.) correlate better with the corrected DMI and DMC this is not easily the case to e.g. water related emissions or land use.

### **3.5.6 Policy relevance**

GDP/DMI is used in the German context to measure raw material related aspects. The political goals like a raw material efficient economy can only be monitored with the help of such indicators. The deficient methodology of the conventional DMI and DMC requires an appropriate correction of the concept.

### **3.5.7 Scientific relevance**

First publications especially at the MFA Conference in Prague are available (ConAccount 2008). The research work has to be evaluated and will be in the case of RME corrections a matter of further debate.

### 3.5.8 Development requirements and perspectives

The RME corrected DMI and DMC will play an important role for a methodological sound measurement of resource use. Therefore it is necessary to further improve the method and increase the data quality for relevant materials. Only after the evaluation of ongoing research it can be concluded which methodology in detail will be chosen. Obviously a mixture of IOT and process chain thinking is needed to achieve the goal. It is open to discussion which degree of detail is necessary for a sound measurement of a national raw material efficiency.

### References

- Schoer, K. (2006): Calculation of direct and indirect material inputs by type of raw material and economic activities, London Group Meeting  
ConAccount (2008): First Results of using RME, Proceedings of ConAccount, Prague, 2008
- Schoer, K.(2008): Direkter Materialinput in Rohstoffäquivalenten nach Rohstoffarten, in Ressourceneffizienz im Kontext der Nachhaltigkeitsdebatte, Hrsg. Hartard, S., Schaffer, A., Giegrich, J., Nomos-Verlag, Baden-Baden
- Giegrich, J., Liebich, A. (2008): Verbesserung des Indikators "Rohstoffproduktivität" – methodische Überlegungen, in Ressourceneffizienz im Kontext der Nachhaltigkeitsdebatte, Hrsg. Hartard, S., Schaffer, A., Giegrich, J., Nomos-Verlag, Baden-Baden
- Buyny, S., Klink, S., Lauber, U. (2009): Verbesserung von Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung – Weiterentwicklung des direkten Materialinputindikators -. Statistisches Bundesamt, Umweltbundesamt, Wiesbaden, Dessau-Roßlau
- Giegrich, J., Liebich, A., Lauwigi, C. (2009): Indikatoren/Kennzahlen für den Rohstoffverbrauch im Rahmen der Nachhaltigkeitsdiskussion, F&E-Vorhaben (FKZ 205 93 368) im Auftrag des Umweltbundesamtes, Kurzdarstellung für das Fachgespräch zur Vorstellung und Diskussion der Projektergebnisse (projektinternes Papier), Heidelberg

## **3.6 Environmental Impact Load – EVIL<sup>9</sup>**

### **3.6.1 Definition**

EVIL stands for Environmental Impact Load. It is a uniform measurement unit which combines different impacts which affect environmental safeguard subjects like climate, air quality, water quality, etc. while using raw materials (or economic activities in general).

1 EVIL can be understood as the acceptable maximum of environmental impacts which guarantee the sustainable development of society (related to a country for the time being) (Giegrich, Liebich, 2008).

### **3.6.2 Objectives**

The objective for the application of EVIL is to use an aggregated environmental indicator which encompasses different impacts and threats to environmental safeguard subjects. It combines scientific knowledge with societal value judgements and conventions laid down by democratically legitimized institutions (e.g. Government).

EVIL is based on political conventions (decisions) which may undergo changes over time. Therefore the quantification can be subject to changes – according to existing and developing knowledge and existing value judgements. The EVIL concept is not representing environmental impacts but is an aggregate of different impacts acting on environmental safeguard subjects.

### **3.6.3 Conceptual and methodological foundation**

#### Conceptual foundation

The approach is based on the concept of Sustainable Development which is understood with the definition of the Brundtland Report (1987) further developed in the Agenda 21 from the Rio Conference (1992). The environmental part of the Brundtland definition for Sustainable Development defines the carrying capacity of the Earth which must be complied with under the pressure of human activities. The carrying capacity is deducted from existing knowledge and from subjective but legitimated value judgements.

#### Methodological foundation

The impact on the environment by the use of raw materials is the basis for the indicator and must be linked to the safeguard subjects and their specific carrying capacity. Safe-

---

<sup>9</sup> provided by IFEU

guard subjects are defined in national and international sustainability concepts and normally comprise e.g. climate, air quality, water quality, human health, quality of soil and land including also biodiversity.

Wherever it is possible environmental quality goals can be adopted as the carrying capacity of the single safeguard subject. As a next step it is necessary to link the economic activities regarding the use of raw materials – calculated in the statistical accounting systems – with the environmental safeguard subjects. The DPSIR concept can be used to connect the safeguard subjects (state of the environment) to the economic activities and the related environmental pressures. So pressures of economic activities have to be related to impacts and the carrying capacity of each safeguard subject.

The general idea is shortly described with an example:

The environmental goal to reduce global warming (safeguard subject: climate) is not to exceed 2°C of additional warming. With this goal a certain concentration of greenhouse gases in the atmosphere is defined and consequently a limit for the emissions of greenhouse gases (environmental pressure) on a yearly basis can be calculated. Then it is a political decision which country of the world as a whole has to contribute how much to this reduction of emissions. For example: Germany is emitting about 1,000 Mio t of CO<sub>2</sub> equivalent – the quality goal is that Germany should not emit more than 250 Mio.t.

With the help of these environmental goals for the selected safeguard subject it is possible to define a common unit which is called “Environmental Impact Load – EVIL”. The definition of this unit is:

1 EVIL = the quantity of a pressure for which the long-term and sustainable protection of a safeguard subject can just be granted (carrying capacity)

For the safeguard subject climate and for the situation of Germany it can be stated:

1 EVIL = 250 Mio t CO<sub>2</sub>-equivalent per year

Now the CO<sub>2</sub>-equivalents of any economic or human activity which can be derived from the MFA or NAMEA/IOT will be expressed in this unit. The mechanism behind this calculation is a weighting according to a distance-to-target scheme. The larger the distance of the actual pressure to the environmental quality goal the higher will be the weight of the respective pressure.

This scheme could be applied for all safeguard subjects which are selected. Environmental quality objectives can be formulated at the level of pressures, the level of environmental state or the level of environmental impacts.



### 3.6.4 Practical application

#### National and International

Several conventions have to be agreed and used. This is easier to establish in the political situation of a single country. It is more difficult to achieve political decisions at an international level but not impossible. The following conventions are needed:

- selection of safeguard subjects
- selection which impacts or substances (emissions) can potentially harm the safeguard subject
- find environmental quality goals which ensure the carrying capacity of this safeguard subject
- agree on the equal value of each safeguard subject (or divert from this)

#### Effort for compilation

This indicator needs as a basis the mass flows in an economy which is the national MFA data – expressed as DMI and DMC. Then all selected environmental pressures and impacts are needed for the detail of the national MFA. This is partly existing in NAMEA tables. Additional pressures and impacts (e.g. emissions to water bodies; land use) must be measured throughout a country and its sectors if they are needed additionally.

#### Data availability

The most important impacts and pressures are readily available in the context of environmental discussions (greenhouse gases, acidifying gases, etc.) Others are not easily available but should be known if considered to be important.

#### Robustness, accuracy

The robustness is based on the accuracy of the input data like mass flows and the measured environmental impacts and pressures. Robustness and accuracy are the wrong expressions to evaluate the political settings of environmental quality goal. Here it is necessary to have a democratic process to define the carrying capacity.

### 3.6.5 Relation to impacts

It is not the purpose of this indicator to represent all possible impacts or pressures. The EVIL concept is an aggregate of the selected impacts or pressures in relation to the different environmental safeguard subjects.

### **3.6.6 Policy relevance**

No policy relevance is given so far because the EVIL concept is a suggestion on how to assess the use of raw material in a broader sense. It only can gain relevance if democratic institutions are willing to define environmental quality goals (carrying capacity) and accept the way how they are used in this valuation concept.

### **3.6.7 Scientific relevance**

Little scientific relevance because the EVIL concept is a first proposal which must be further discussed and refined. But it contains important elements to be useful in the future.

### **3.6.8 Development requirements and perspectives**

Environmental quality goals are needed to guide policy making. If they don't exist (as partly today) no guidance for a sound policy on Sustainable Development is given. As social preferences and political decisions are involved discussions about the right selection of safeguard subjects and environmental goal has to be promoted. In the longer run a refinement of the weighting methodology appears to be useful.

## **References**

Giegrich, J., Liebich, A. (2008): Verbesserung des Indikators "Rohstoffproduktivität" – methodische Überlegungen, , in Ressourceneffizienz im Kontext der Nachhaltigkeitsdebatte, Hrsg. Hartard, S., Schaffer, A., Giegrich, J., Nomos-Verlag, Baden-Baden

## **3.7 Environmentally weighted Material Consumption – EMC<sup>10</sup>**

### **3.7.1 Definition**

EMC provides an aggregate measure of the life-cycle-wide environmental impacts associated with the domestic material consumption of (a set of) selected materials. 13 available impact categories (GWP, ODP etc.) per unit of material use are normalized with data on status quo of a reference year on the global level; these normalized impact coefficients are multiplied with the apparent consumption of the material; To arrive at one score, the 13 impact categories have to be aggregated using weighting, which can be done in various ways. EMC has been applied for the EU and member states based on roughly 30 materials and using various weighting schemes (van der Voet et al. 2005).

### **3.7.2 Objectives**

EMC aims to measure potential life-cycle-wide environmental impacts of the consumption of materials, focussing on the cradle-to-gate and waste-recycling stages of the life-cycle, and including direct emissions of the material in the use phase only. The energy requirement of the use phase of products is covered indirectly, via the impacts of consumed fossil fuels.

EMC covers only a selection of materials, and therefore does not capture environmental impacts of materials not accounted for. EMC does not cover all environmental impacts, as there are no harmonized LCA conventions to deal with land use/land cover-change related impacts or depletion of resources, especially biotic resources.

### **3.7.3 Conceptual and methodological foundation**

#### Conceptual foundation

EMC is an indicator embedded in the concept of socio-industrial metabolism (like DMC) and based on LCA methodology which aims at quantifying life-cycle-wide environmental impacts of products.

#### Methodological foundation

The basic methodological reference for EMC is the study report “Policy review on decoupling” for DG Environment and its annexes (van der Voet et al. 2005) which also provide some practical guidance for deriving the indicator.

---

<sup>10</sup> provided by Wuppertal Institute with kind contribution of Ester van der Voet (CML)

### 3.7.4 Practical application

The EMC indicator has been derived so far for the EU-25 and its member countries plus the – then – 3 accession and candidate countries which were Bulgaria, Romania and Turkey; in time period from 1992 to 2000.

#### Effort for compilation

The timeframe for deriving the EMC indicator depends on the basic approach chosen, ie if one starts with the DMC indicator and derives the apparent material consumption data from it (as done in the original EMC study), or if one uses apparent material consumption data from available statistics directly. The latter should be a more efficient approach given data availability. The application of LCA coefficients usually requires expert knowledge, and the amount of additional work to derive the EMC clearly depends on the availability of LCIA coefficients, and the requirements to use up-to-date and region specific data. The application of impact factors, once derived, is straightforward and takes hardly any time at all. In a setting where annual statistics are collected standardly and available impact factors can be used, EMC calculation can take place routinely. When balance sheets for materials have to be compiled specifically, or new impact factors have to be derived, this is a more time consuming matter. Region specific data are presently scarce and scattered. Collecting region specific data is a constant point of attention of the LCA community.

#### Data availability

Availability of materials data has been described for DMC. LCI data are available in professional data bases like Ecoinvent. For establishing the impacts to derive EMC, the CMLCA software (Heijungs, 2003) and an established LCA database, the ETH database (Frischknecht, 1996) were used in the 2005 study. Since then, impact factors are updated using the Ecoinvent database (Ecoinvent, 2008).

#### Robustness, accuracy

Van der Voet et al. describe interpretation problems of the EMC: “The uncertainties of basic MFA data and the derived DMC also apply to the EMC. Additional uncertainties and restrictions arise from the use of LCA data. The LCA process data are averages for Western Europe, implying that on the one hand differences between countries are not expressed, while on the other hand efficiency improvements over time that do not result in a lower materials consumption (such as the application of end-of-pipe technologies) cannot be seen. The LCA database is updated once a decade rather than once a year. Basic assumptions in the LCA database with regard to recycling and allo-

cation are difficult to detect and may be open for improvement. Regarding the LCA impact assessment data, there are large differences in quality between the different impact categories. While global warming potentials are based on internationally agreed studies, large uncertainties exist in the impact categories related to toxicity. The LCA Impact Assessment methodology is not well developed for land use and waste generation. Depletion of resources of a biotic nature, e.g. wood and fish, is not included at all; at this moment there is no consensus on how to derive impact factors. Despite these omissions and uncertainties, the addition of LCA data in our view is still relevant, bringing the MFA based indicator a step further in the direction of potential impacts. Both for MFA and LCA databases, improvements should and probably will be made over time, allowing for more reliable indicators. Both research and development areas are alive and many experts are working on it, which ensures a highly dynamic development field."

### **3.7.5 Relation to impacts**

EMC has explicitly been developed to account for impacts of material use, some limitations have been described above.

### **3.7.6 Policy relevance**

The development of EMC was commissioned by DG Environment in order to develop an economy-wide indicator which could describe in a quantitative manner the decoupling of environmental impacts of global resource use from economic growth by the EU. In other words, EMC was meant to represent the "overall environmental impacts line" of the Thematic Strategy on the use of natural resources of the Commission (EC 2003). Since then, it has been the subject of a study commissioned by the EC to compare different decoupling indicators (Best et al., 2008). It has been recommended as one of the four indicators in a "basket of indicators" supporting resource policy, to be compiled on a regular basis in the Eurostat Datacenter on Natural Resources. A study has been commissioned by Eurostat to update EMC and assess whether EU statistics can be used directly, instead of using MFA accounts (van der Voet et al., 2009). This proved to be possible. In a draft Implementation Plan, EMC is proposed as one of the indicators of the "Environmental Sustainability Dashboard" of the EU, supporting the Resource Strategy (Dige, in press)

### **3.7.7 Scientific relevance**

No information.

### 3.7.8 Development requirements and perspectives

Since the pioneering study by van der Voet et al. (2005), there have been attempts to develop impact based resource use indicators at Eurostat and in Germany (see EVIL). Recently the JRC-IES, Ispra, has launched a study with the aim to develop life cycle based macro-level monitoring indicators on resources, products and wastes for the EU-27.

#### References

- Best, A. / Blobel, D. / Cavalieri, S. / Giljum, S. / Hammer, M. / Lutter, S. / Simmons, C. / Lewis, K. (2008): Potential of the Ecological Footprint for monitoring environmental impacts from natural resource use: Analysis of the potential of the Ecological Footprint and related assessment tools for use in the EU's Thematic Strategy on the Sustainable Use of Natural Resources, Report to the European commission, DG Environment
- EC – European Commission (2003): Towards a Thematic Strategy on the Sustainable Use of Natural Resources. COM(2003) 572 final. Ecoinvent (2008). <http://www.ecoinvent.ch/>
- Heijungs, R. (2003): CMLCA, Chain Management by Life Cycle Assessment. A software tool to support the technical steps of the life cycle assessment procedure (LCA). The software tool with demo files and manual can be downloaded. <http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/software/cmlca/index.html#download>
- Van der Voet, E. / van Oers, L. / Moll, S. / Schütz, H. / Bringezu, S. / de Bruyn, S. / Sevenster, M. / Warringa, G. (2005): Policy Review on Decoupling: Development of indicators to assess decoupling of economic development and environmental pressure in the EU-25 and AC-3 countries. CML report 166, Leiden: Institute of Environmental Sciences (CML), Leiden University - Department Industrial Ecology. [www.leidenuniv.nl/cml/ssp/](http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/)
- Van der Voet, E., L. van Oers, S. de Bruyn, F. de Jong and A. Tukker (2009) Environmental Impact of the use of Natural Resources and Products. CML report 184. Department Industrial Ecology. 186p.



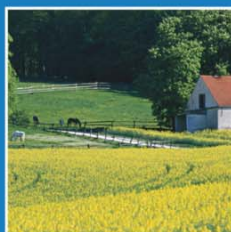
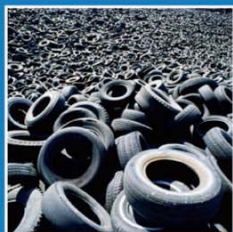
Thomas Hanke  
Ole Soukup  
Peter Viebahn  
Manfred Fishedick (AP-Leitung)

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

## **Bottom-up Wirkungsanalyse-Modell**

### **Abschlussbericht zu AS6.2**

Abschlussbericht des Arbeitsschritts 6.2 des Projekts  
„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)



Wuppertal, Dezember 2010

ISSN 1867-0237



## Kontakt zu den Autor(inn)en:

Dr. Peter Viebahn

Tel.: +49 (0) 202 2492 -306, Fax: -198

Mail: [peter.viebahn@wupperinst.org](mailto:peter.viebahn@wupperinst.org)

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH  
Döppersberg 19, 42103 Wuppertal

## „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes) – Projekt im Auftrag des BMU | UBA

**Projektlaufzeit:** 07/2007 – 12/2010

### Projektleitung:

Dr. Kora Kristof / Prof. Dr. Peter Hennicke

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH  
42103 Wuppertal, Döppersberg 19

Tel.: +49 (0) 202 2492 -183 / -136, Fax: -198 / -145

Mail: [kora.kristof@wupperinst.org](mailto:kora.kristof@wupperinst.org)

[peter.hennicke@wupperinst.org](mailto:peter.hennicke@wupperinst.org)

© Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

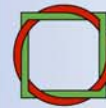
Weitere Informationen zum Projekt

„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)

finden Sie unter **[www.ressourcen.wupperinst.org](http://www.ressourcen.wupperinst.org)**

Gefördert wird das Vorhaben im Rahmen des UFOPLAN  
durch das BMU und das UBA, Förderkennzeichen: 3707 93 300

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung  
liegt bei den Autor(inn)en.



**Wuppertal Institut**  
für Klima, Umwelt, Energie  
GmbH

### Wuppertal Institut in Kooperation mit

BASF  
Borderstep  
CSCP  
Daimler  
demea – VDI / VDE-IT  
ECN  
EFA NRW  
FhG IAO  
FhG UMSICHT  
FU Berlin  
GoYa!  
GWS  
Hochschule Pforzheim  
IFEU  
Institut für Verbraucherjournalismus  
IÖW  
IZT  
MediaCompany  
Ökopol  
RWTH Aachen  
SRH Hochschule Calw  
Stiftung Warentest  
ThyssenKrupp  
Trifolium  
TU Berlin  
TU Darmstadt  
TU Dresden  
Universität Kassel  
Universität Lüneburg  
ZEW



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

**Umwelt  
Bundes  
Amt**   
Für Mensch und Umwelt

## Bottom-up Wirkungsanalyse-Modell

### Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>11</b>
<b>1 Modellkonzept</b>	<b>13</b>
1.1 Ziele und Aufgabenstellung	13
1.2 Das Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ als Teil des Bedarfsfelds „Bauen und Wohnen“	14
1.3 Das Bottom-up Wirkungsanalyse Modell „Warmer Wohnraum“	16
<b>2 Implementierung des Technologiemo­dells (Modul 1)</b>	<b>20</b>
2.1 Einsatz von wohnungs- und siedlungspolitischen Instrumenten	20
2.2 Der <i>HEAT</i> -Buildings Modellrahmen	20
2.3 Die <i>HEAT</i> -„Philosophie“	22
2.4 Der Einsatz von <i>HEAT</i> in MaRess	24
<b>3 Implementierung des Stoffstrommodells (Modul 2)</b>	<b>26</b>
3.1 Ziel und Untersuchungsrahmen	26
3.2 Sachbilanz	29
3.3 Wirkungsabschätzung	33
3.4 Auswertung	38
3.5 Kopplung von Umberto mit <i>HEAT</i> und exogenen Parameter-Tabellen	38
<b>4 Definition der MaRess-Szenarien (Modul 3)</b>	<b>41</b>
4.1 Ausgangspunkt Policymix	41
4.2 Narrative Beschreibung der MaRess-Szenarien	45
<b>5 Einflussparameter des Modells (Modul 4)</b>	<b>49</b>
5.1 Externe Parameter (szenarioübergreifende Eckdaten)	49
5.2 Energetische Parameter	52
5.2.1 Strommix	52
5.2.2 Wärmemix	56
5.2.3 Brennstoffausnutzung fossiler Kraftwerke	58

5.3	Gebäudeparameter (Szenarienannahmen in <i>HEAT</i> )	59
5.4	Produktvarianten (Variation von Produktionsvorketten)	62
5.4.1	Direkter Stromverbrauch von Heizungen und Dämmstoffherstellung	62
5.4.2	Treibmittel der Dämmstoffherstellung	62
5.4.3	Variation des Dämmstoffes	64
<b>6</b>	<b>Detaillierung der Szenarien-Eingriffe auf der Nachfrageseite und deren Treibergrößen in <i>HEAT</i></b>	<b>65</b>
<b>7</b>	<b>Modellierungsergebnisse</b>	<b>69</b>
7.1	Material- und Energieflüsse im Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“	69
7.1.1	Darstellung der einzelnen Szenarien	69
7.1.2	Szenarienvergleich	81
7.1.3	Variation der Dämmstoffe (XPS versus Zellulose)	85
7.2	Ökobilanz-Ergebnisse	85
7.3	Trade-off Analyse der Materialintensität mittels MIPS am Beispiel der Dämmstoffe XPS und Zellulose	99
<b>8</b>	<b>Schlussfolgerungen, Politikempfehlungen und Forschungsbedarf</b>	<b>105</b>
8.1	Schlussfolgerungen und Politikempfehlungen	105
8.2	Forschungsbedarf	107
<b>9</b>	<b>Literatur</b>	<b>111</b>
<b>10</b>	<b>Anhang</b>	<b>114</b>

## Abbildungen

Abb. 1-1:	Anteile der Bedarfsfelder am Globalen Materialaufwand [in 1.000 t TMR] - induzierter direkter und indirekter TMR durch die inländische Produktion für die privaten Haushalte Deutschlands im Jahr 2000	15
Abb. 1-2:	Beispiel eines Primär-, End- und Nutzenergieflussbildes für die alten Bundesländer im Jahr 1990	15
Abb. 1-3:	Modellkonzept für das Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“	18
Abb. 2-1:	Der deutsche Gebäudebestand im Jahr 2006	21
Abb. 2-2:	Potenzialpyramide	22
Abb. 2-3:	Angebotskurve der Einsparung im Gebäudebestand (am Beispiel von Nordrhein-Westfalen)	24
Abb. 2-4:	Erreichbarkeit von Politikinstrumenten auf verschiedenen Ebenen des Bottom-up Wirkungsanalyse-Modells	25
Abb. 3-1:	Rahmen einer Ökobilanz nach ISO 14044/14044	26
Abb. 3-2:	Hauptnetz des Stoffstrommodells und periodenabhängige Inputs von Referenzflüssen und Parametern	28
Abb. 3-3:	Result- und Unit-Prozesse in ecoinvent	31
Abb. 3-4:	Schematische Darstellung der Kopplung des Stoffstrommodells mit HEAT und exogenen Parametern	40
Abb. 5-1:	Entwicklung der Wohnflächenanteile von Alt- und Neubauten	52
Abb. 5-2:	Strommix im Szenario <i>MaRes BAU</i>	53
Abb. 5-3:	Strommix im Szenario <i>MaRes Leit-Minus</i>	54
Abb. 5-4:	Strommix in den Szenarien <i>MaRes Leit</i> und <i>MaRes Leit-Plus</i>	55
Abb. 5-5:	Einsatz der Heizungsanlagen nach Energieträgern im Szenario <i>MaRes BAU</i>	57
Abb. 5-6:	Einsatz der Heizungsanlagen nach Energieträgern im Szenario <i>MaRes Leit-Minus</i>	57
Abb. 5-7:	Einsatz der Heizungsanlagen nach Energieträgern im Szenario <i>MaRes Leit</i>	58
Abb. 5-8:	Einsatz der Heizungsanlagen nach Energieträgern im Szenario <i>MaRes Leit-Plus</i>	58
Abb. 7-1:	Vergleich der Endenergienachfrage in den MaRes-Szenarien <i>BAU</i> , <i>Leit-Minus</i> , <i>Leit</i> und <i>Leit-Plus</i> für Raumwärme und Warmwasser bis zum Jahr 2050	83

Abb. 7-2:	Vergleich der Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen in den MaRess-Szenarien <i>BAU</i> , <i>Leit-Minus</i> , <i>Leit</i> und <i>Leit-Plus</i> für die Raumwärme und Warmwasser bis zum Jahr 2050	84
Abb. 7-3:	Kumulierter Einsatz von Dämmstoffen (XPS und Zellulose) in den MaRess- Szenarien <i>MaRess BAU</i> , <i>MaRess Leit-Minus</i> , <i>MaRess Leit</i> und <i>MaRess Leit-Plus</i>	85
Abb. 7-4:	Relative Entwicklung von CML-Indikatoren im Szenario <i>MaRess BAU</i>	87
Abb. 7-5:	Absolute Entwicklung des CML-Indikators „Klimawandel“ im Szenario <i>MaRess BAU</i>	88
Abb. 7-6:	Relative Entwicklung von CML-Indikatoren im Szenario <i>MaRess Leit-Minus</i>	89
Abb. 7-7:	Absolute Entwicklung des CML-Indikators „Landverbrauch“ im Szenario <i>MaRess Leit-Minus</i>	90
Abb. 7-8:	Absolute Entwicklung des CML-Indikators „Klimawandel“ im Szenario <i>MaRess Leit-Minus</i>	90
Abb. 7-9:	Relative Entwicklung von CML-Indikatoren im Szenario <i>MaRess Leit</i>	91
Abb. 7-10:	Absolute Entwicklung des CML-Indikators „Stratosphärischer Ozonabbau“ im Szenario <i>MaRess Leit</i>	92
Abb. 7-11:	Absolute Entwicklung des CML-Indikators „Klimawandel“ im Szenario <i>MaRess Leit</i>	92
Abb. 7-12:	Relative Entwicklung von CML-Indikatoren im Szenario <i>MaRess Leit-Plus</i>	93
Abb. 7-13:	Absolute Entwicklung des CML-Indikators „Erschöpfung abiotischer Ressourcen“ im Szenario <i>MaRess Leit-Plus</i>	94
Abb. 7-14:	Absolute Entwicklung des CML-Indikators „Klimawandel“ im Szenario <i>MaRess Leit-Plus</i>	94
Abb. 7-15:	Relative Entwicklung von CML-Indikatoren im Szenario <i>MaRess Leit-Plus (Sensitivität Treibmittel)</i> – Werte zwischen 250 und 500% abgeschnitten	95
Abb. 7-16:	Absolute Entwicklung des CML-Indikators „Stratosphärischer Ozonabbau“ im Szenario <i>MaRess Leit-Plus (Sensitivität Treibmittel)</i>	96
Abb. 7-17:	Absolute Entwicklung des CML-Indikators „Klimawandel“ im Szenario <i>MaRess Leit-Plus (Sensitivität Treibmittel)</i>	97
Abb. 7-18:	Relative Entwicklung von CML-Indikatoren im Szenario <i>MaRess Leit-Plus (Sensitivität Zellulose-Dämmung)</i>	97

- Abb. 7-19: Absolute Entwicklung des CML-Indikators „Klimawandel“ im Szenario  
*MaRess Leit-Plus (Sensitivität Zellulose-Dämmung)* \_\_\_\_\_ 98
- Abb. 7-20: Ergebnisse der Trade-off Analyse (Ressourceneinsatz versus  
Einsparungen) der Dämmstoffvarianten XPS und Zellulose \_\_\_\_\_ 103

## Tabellen

Tab. 3-1:	Referenzflüsse im Szenario <i>MaRess BAU</i>	29
Tab. 3-2:	Produkte und Technologien in <i>HEAT</i> und ihre Äquivalenzprozesse im Stoffstrommodell	30
Tab. 3-3:	Kraftwerkstypen in der <i>Leitstudie 2008</i> und ihre Äquivalenzprozesse im Stoffstrommodell	33
Tab. 3-4:	Erläuterung der Nomenklatur von elementaren Ressourcenströmen in ecoinvent	38
Tab. 4-1:	Instrumente aus AP3 und ihre Relevanz für AS6.2	42
Tab. 4-2:	Instrumentenbündel aus AP4 und ihre Relevanz für AS6.2	42
Tab. 4-3:	Instrumente aus AP12 und ihre Relevanz für AS6.2	44
Tab. 4-4:	Übersicht über die MaRess-Szenarien und ihre Annahmen zur Energieversorgung	47
Tab. 5-1:	U-Werte zur Einhaltung von Wärmeschutzverordnungen und -standards	50
Tab. 5-2:	Entwicklung der Bevölkerung Deutschlands bis 2050	50
Tab. 5-3:	Entwicklungen der Wohnflächen pro Person	51
Tab. 5-4:	Entwicklung der Wohnungsbestände	51
Tab. 5-5:	Durchschnittliche Brennstoffausnutzung im jeweiligen Bestand fossiler Kondensationskraftwerke	59
Tab. 5-6:	Mix aus erneuerbaren Energien zur Deckung des Raumwärmebedarfes im Szenario <i>MaRess Leit-Plus</i> (mit entsprechenden Potenzialen aus dem Szenario <i>MaRess Leit</i> )	60
Tab. 5-7:	Entwicklung der Umsetzungsraten bei der Sanierung in den MaRess-Szenarien <i>BAU</i> , <i>Leit-Minus</i> , <i>Leit</i> und <i>Leit-Plus</i> bezogen auf jährlich sanierte Wohnflächen	62
Tab. 5-8:	Treibmittelmix der Dämmstoffproduktion (XPS) in den Szenarien	63
Tab. 6-1:	Leitindikatoren im Szenario <i>MaRess BAU</i>	65
Tab. 6-2:	Leitindikatoren im Szenario <i>MaRess Leit-Minus</i>	66
Tab. 6-3:	Leitindikatoren im Szenario <i>MaRess Leit</i>	66
Tab. 6-4:	Leitindikatoren im Szenario <i>MaRess Leit-Plus</i>	67
Tab. 6-5:	Zusammenfassende Darstellung der Einflussgrößen im Gebäudebereich nach Szenarien	68

Tab. 7-1:	Entwicklung von Nutz- und Endenergie im Szenario <i>MaRess BAU</i>	70
Tab. 7-2:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Szenario <i>MaRess BAU</i> [in CO <sub>2</sub> -Äquivalenten]	71
Tab. 7-3:	Entwicklung der Sanierungskosten im Szenario <i>MaRess BAU</i>	71
Tab. 7-4:	Ergebnisse der Materialbilanzierung für das Szenario <i>MaRess BAU</i> für XPS	72
Tab. 7-5:	Entwicklung von Nutz- und Endenergie im Szenario <i>MaRess Leit-</i> <i>Minus</i>	73
Tab. 7-6:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Szenario <i>MaRess Leit-</i> <i>Minus</i> [in CO <sub>2</sub> -Äquivalenten]	74
Tab. 7-7:	Entwicklung der wirtschaftlichen Kennzahlen im Szenario <i>MaRess</i> <i>Leit-Minus</i>	75
Tab. 7-8:	Ergebnisse der Materialbilanzierung für das Szenario <i>MaRess Leit-</i> <i>Minus</i>	75
Tab. 7-9:	Entwicklung von Nutz- und Endenergie im Szenario <i>MaRess Leit</i>	76
Tab. 7-10:	Entwicklung der erneuerbaren Energien-Potenziale im Szenario <i>MaRess Leit</i>	77
Tab. 7-11:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Szenario <i>MaRess Leit</i> [in CO <sub>2</sub> -Äquivalenten]	77
Tab. 7-12:	Entwicklung der wirtschaftlichen Kenngrößen im Szenario <i>MaRess</i> <i>Leit</i>	78
Tab. 7-13:	Ergebnisse der Materialbilanzierung im Szenario <i>MaRess Leit</i>	79
Tab. 7-14:	Entwicklung von Nutz- und Endenergie in der Variantenrechnung des Szenarios <i>MaRess Leit-Plus</i>	80
Tab. 7-15:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Szenario <i>MaRess Leit-</i> <i>Plus</i> [in CO <sub>2</sub> -Äquivalenten]	80
Tab. 7-16:	Ergebnisse der Materialbilanzierung im Szenario <i>MaRess Leit-Plus</i>	81
Tab. 7-17:	MIPS-Verrechnungsfaktoren von XPS und Zellulose sowie anderer Bau- und Dämmstoffe	99
Tab. 7-18:	Ergebnisse der MIPS-Berechnung und Trade-off Analyse für den Dämmstoff XPS im Szenario <i>MaRess Leit-Plus</i>	101
Tab. 7-19:	Ergebnisse der MIPS-Berechnung und Trade-off Analyse für den Dämmstoff Zellulose im Szenario <i>MaRess Leit-Plus</i>	102





## Vorwort

Dieser Bericht beschreibt die Ergebnisse des Arbeitsschritts 6.2. Der Abschlussbericht des gesamten Arbeitspakets 6 wird als Ressourceneffizienzpaper 6.7 veröffentlicht.

Innerhalb des AS6.2 wurde am Beispiel des Bedarfsfeldes „Warmer Wohnraum“ als Teil des Bedarfsfeldes „Bauen und Wohnen“ beispielhaft analysiert, wie sich Politikansätze zur Erhöhung der Ressourceneffizienz in der Summe auf die Ressourcenbilanz auswirken und mit welchem Erfolg sie umgesetzt werden könnten. Zu diesem Zweck wurde das Bottom-up Wirkungsanalyse Modell „Warmer Wohnraum“ entwickelt. Es koppelt erstmals ein Technologiemoell (zur Abbildung von Energieflüssen im Wohnungssektor) mit einem Stoffstrommodell (zur Berechnung der ausgelösten Umweltwirkungen), um szenarienmäßig mögliche Trade-offs zwischen der Bereitstellung von treibhausgasreduziertem („low carbon“) „warmen Wohnraum“ und dadurch ausgelösten Sekundäreffekten bei der Bereitstellung der benötigten Dämmmaterialien und Erzeugung erneuerbarer Energien zu analysieren. Mit „Umweltwirkungen“ sind dabei sowohl Ressourcenverbräuche auf der Inputseite als auch Emissionen auf der Outputseite gemeint.

*Kapitel 1* beginnt mit einer detaillierten Beschreibung des entwickelten Modellkonzepts, indem ausgehend von Zielen und Aufgabenstellung von AS6.2 die Notwendigkeit hergeleitet wird, das Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ zu analysieren, und der Aufbau des entwickelten Bottom-up Wirkungsanalyse Modells dargestellt wird.

Die *Kapitel 2-5* beschreiben, wie das Bottom-up Wirkungsanalyse Modell implementiert wurde.

*Kapitel 2* enthält eine Beschreibung des Technologiemoells *HEAT*, mit dem der Energiebedarf, die CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie Einsparmaßnahmen und deren Kosten im Haushaltssektor, differenziert nach 44 Gebäudetypen, innerhalb von Szenarien bis zum Jahr 2050 modelliert werden kann.

Dem schließt sich in *Kapitel 3* das mit der Software Umberto entwickelte Stoffstrommodell an, mit dem die durch die Investitionen im Gebäudesektor ausgelösten Umweltwirkungen (sowohl auf der Ressourcen- als auch auf der Emissionsseite) ebenfalls bis 2050 berechnet werden können.

In *Kapitel 4* folgt die Erstellung der MaRess-Langfrist-Szenarien. Nach einer detaillierten Begründung, warum entgegen der ursprünglich geplanten Vorgehensweise keine Ressourcenpolitikansätze aus den Arbeitspaketen 3 (Innovative Ressourcenpolitikansätze zur Gestaltung der Rahmenbedingungen), 4 (Innovative Ressourcenpolitikansätze auf Mikroebene: Unternehmensnahe Instrumente und Ansatzpunkte) und 12 (Konsumenten- und kundennahe Ansätze zur Ressourceneffizienzsteigerung) genutzt werden konnten, wird stattdessen auf Ziele der Klimapolitik zurück gegriffen, und es werden entsprechende Langfrist-Energieszenarien entwickelt.

*Kapitel 5* beschreibt die verschiedenen Treiber, die auf die vier Szenarien wirken. Dies sind externe Parameter, die durch den Gesamtpolitikrahmen beeinflusst werden (wie zum Beispiel die Bevölkerungsentwicklung); energetische Parameter, die sich aus dem jeweiligen Energiemix der vier Szenarien ergeben (zum Beispiel der Strommix); Gebäudeparameter, die über die Energieszenarien hinaus Vorgaben für die Sanierung im Haushaltsbereich machen (zum Beispiel Sanierungsrate), sowie Varianten in den betrachteten Produktvorketten (zum Beispiel die Art der modellierten Dämmmaterialien).

In *Kapitel 6* werden ausgehend von den vier Szenarien mithilfe des *HEAT*-Modells unterschiedlich große Effizienzanstrengungen im Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ modelliert, die in entsprechende Investitionen in zusätzliche Dämmung und alternative Heizsysteme münden. Gleichzeitig werden für jedes Energieszenario die Zusammensetzung des jeweiligen Strom- und Wärmemixes modelliert und die Technologien ökobilanztechnisch abgebildet, die für das Stoffstrommodell benötigt werden.

*Kapitel 7* gibt die zentralen Ergebnisse der Langfrist-Modellierung wieder. Dies ist einerseits die Nachfrage nach Dämmmaterialien, Primärenergie und Heizungsanlagen, die sich aus der Modellierung in *HEAT* für jedes Jahrzehnt bis zum Jahr 2050 ergeben. Diese Material- und Energieströme werden an das Stoffstrommodell übergeben. In einem zweiten Schritt folgen dann die Ergebnisse aus der Ökobilanzierung, die den Trade-off zwischen Effizienzmaßnahmen und Mehrverbrauch an Dämmmaterialien darstellen. In einer Sensitivitätsanalyse werden schließlich die Fälle betrachtet, wenn statt des standardmäßig eingesetzten Dämmstoffs XPS die Alternative Zellulose verwendet wird.

In *Kapitel 8* werden die Ergebnisse zusammengefasst, Schlussfolgerungen gezogen und Politikempfehlungen gegeben. Der Bericht schließt mit dem Aufzeigen zukünftigen Forschungsbedarfs.

# 1 Modellkonzept

## 1.1 Ziele und Aufgabenstellung

Ziel des Arbeitsschrittes 6.2 war es, am Beispiel eines ausgewählten Bedarfsfeldes beispielhaft zu analysieren, wie sich Politikansätze zur Erhöhung der Ressourceneffizienz in der Summe auf die Ressourcenbilanz auswirken und mit welchem Erfolg sie umgesetzt werden könnten. Dies beinhaltet drei Untersuchungsebenen:

- Durch die Entwicklung und beispielhafte Anwendung eines *Bottom-up Wirkungsanalyse Modells* sollte es ermöglicht werden, sowohl die direkten als auch die indirekten Wirkungen eines von den Arbeitspaketen 3 (Innovative Ressourcenpolitikansätze zur Gestaltung der Rahmenbedingungen), 4 (Innovative Ressourcenpolitikansätze auf Mikroebene: Unternehmensnahe Instrumente und Ansatzpunkte) und 12 (Konsumenten- und kundennahe Ansätze zur Ressourceneffizienzsteigerung) identifizierten Policymixes zu ermitteln, also quasi eine „Netto“-Bilanzierung der aus verschiedenen Politikansätzen resultierenden Ressourcenströme durchzuführen. Auf diese Weise können sowohl direkte Wechselwirkungen als auch Trade-offs und Synergieeffekte zwischen betrachteten Maßnahmen ermittelt werden.
- Neben den Auswirkungen auf den Ressourcenbereich selbst sollten gleichzeitig auch Wechselwirkungen mit anderen gesellschaftspolitischen Zielen (insbesondere den Klimaschutzzielen) analysiert werden. So ist angesichts klimapolitischer Vorgaben in Deutschland und der Europäischen Union zu fragen, ob Maßnahmen zur Verringerung der Ressourcenströme im Einklang mit den Reduktionszielen für Treibhausgas-Emissionen stehen. Weitere emissionsseitige Umweltwirkungsbereiche sind zum Beispiel der Sommersmog, die Versauerung von Böden und Gewässern oder die Belastung durch Feinstäube, die mithilfe eines *Ökobilanzierungs Modells* ermittelt werden können.
- Durch die Anwendung und Übertragung der im Energiesektor gängigen Szenarioanalyse wurde es zudem möglich, die Auswirkungen verschiedener Ressourcenpolitikansätze im gleichen Bedarfsfeld zu modellieren und ihre Auswirkungen und Unterschiede gegenüberzustellen. Indem gleichzeitig nicht nur die Ist-Situation, sondern die Entwicklung auf der Zeitachse bis zum Jahr 2050 modelliert wurde, konnten zudem *Langfrist-Auswirkungen* analysiert werden. Dies ist insbesondere dann relevant, wenn die Auswirkungen von Ressourceneffizienzmaßnahmen einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten betreffen.

Die Erfahrungen bei der Modellierung des ausgewählten Bedarfsfeldes und der entwickelten Methodik sollten schließlich hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf andere Bedarfsfelder analysiert werden. Dieser Teil der Analyse ist Inhalt des Papers 6.1 „*Übertragbarkeit des Bottom-up Wirkungsanalyse-Modells auf andere Bedarfsfelder*“. Es zeigt, dass das hier entwickelte Modell unter zwei Voraussetzungen auf andere Bedarfsfelder übertragbar ist: Einerseits müssen messbare Indikatoren zur Verfügung

stehen, mit denen die Wirkung von Politikinstrumenten abgebildet werden kann; andererseits muss für das jeweilige Bedarfsfeld ein Technikmodell einsatzbereit sein, mit dem Veränderungen der gewählten Indikatoren im Zeitablauf szenarienmäßig berechnet werden können. Dies ist beispielsweise im Bedarfsfeld „Mobilität und Verkehr“ mit dem TREMOD-Modell gegeben, das im Auftrag des Umweltbundesamtes durch das Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu) entwickelt wurde (vgl. ifeu 2010).

## **1.2 Das Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ als Teil des Bedarfsfelds „Bauen und Wohnen“**

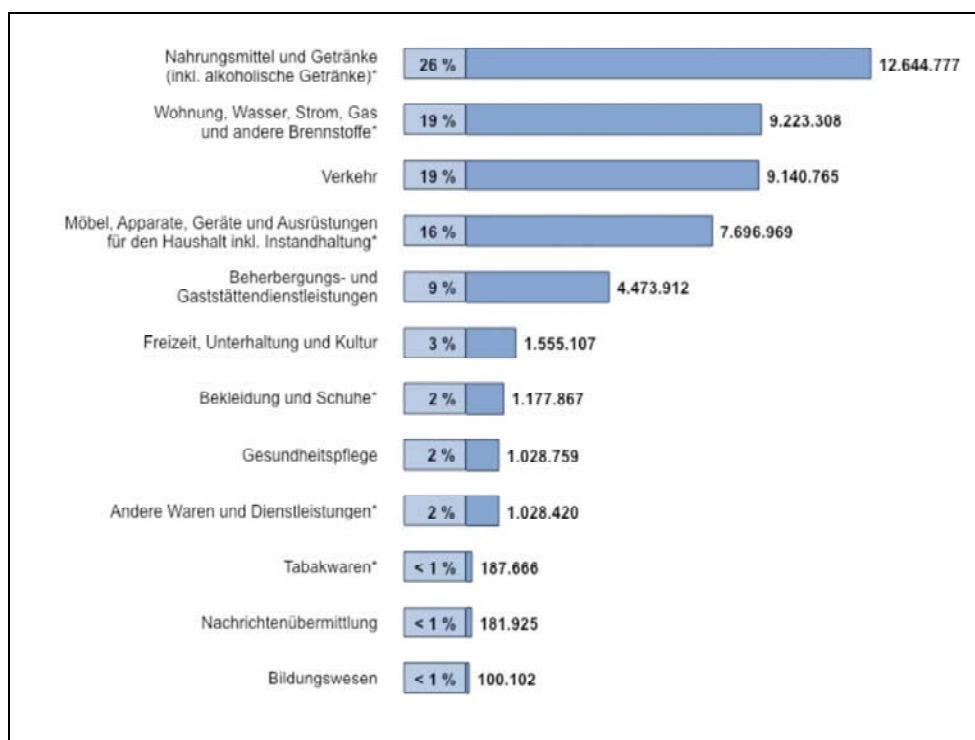
Von verschiedenen in Frage kommenden Bedarfsfeldern (zum Beispiel „Bauen und Wohnen“, „Mobilität und Verkehr“, „Freizeit“, „Gesundheit“ und „Ernährung“) wurde zu Beginn das Bedarfsfeld „Bauen und Wohnen“ und hierin das Teil-Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ ausgewählt. Dieses Bedarfsfeld umfasst nach der hier vorgenommenen Definition die Nachfrage nach „Warmem Wohnraum“ in Deutschland. „Warmer Wohnraum“ kann mittels Heizungsanlagen auf fossiler und erneuerbarer Basis, mittels Stromheizung über fossilen Strom oder erneuerbare Energien oder auch durch energetische Optimierung (zum Beispiel Wärmedämmung) von Gebäuden erreicht werden. Neben dem Bestand an Wohnungen werden auch die Zu- und Abgänge bis zum Jahr 2050 betrachtet.

Für die Auswahl dieses Bedarfsfeldes waren verschiedene Gründe ausschlaggebend:

- Das Bedarfsfeld „Bauen und Wohnen“ ist hinsichtlich des direkten und indirekten globalen Materialaufwandes der inländischen sektoralen Produktion ein Hot-spot Bereich. Der globale Materialaufwand (TMR = Total Material Requirement) beschreibt den absoluten Stoff- beziehungsweise Materialmengenstrom, der durch einen bestimmten Bedarf ausgelöst wird. Hier werden auch die indirekten Ströme mitbilanziert, so dass die gesamte Wirkungskette enthalten ist (auch als „ökologischer Rucksack“ bezeichnet). Abb. 1-1 zeigt die Anteile der Bedarfsfelder am globalen Materialaufwand. Die Gesamtmaterialmenge betrug im Jahr 2000 48.439 Mio. t TMR, wobei das Bedarfsfeld „Wohnung, Wasser, Strom und Gas“ mit 19% an zweiter Stelle steht und neben der Nahrungsmittelproduktion (26%) und dem Verkehr (19%) einen der drei Hot-spots darstellt.

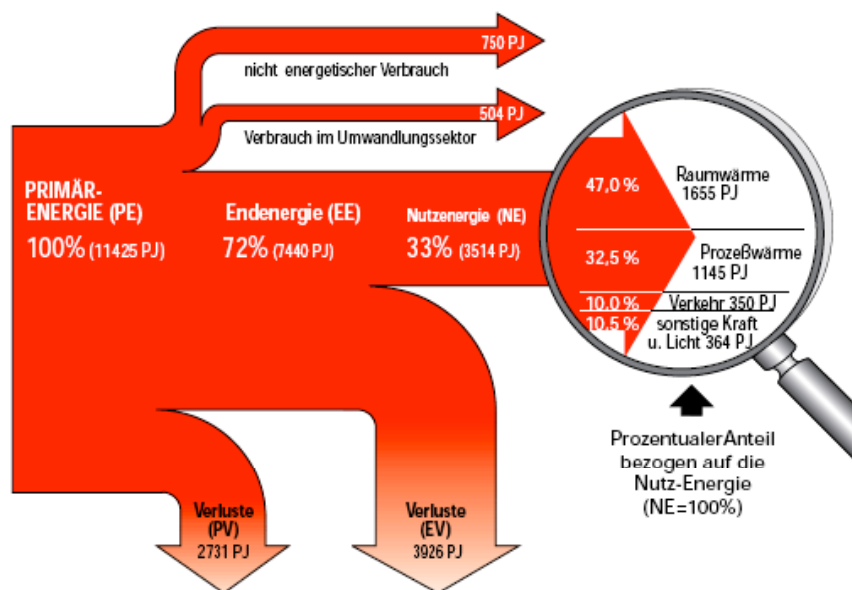
Analysiert man zudem den Verbrauch der energetischen Ressourcen, so zeigt sich die herausragende Bedeutung des Bedarfsfeldes „Warmer Wohnraum“. In Abb. 1-2 ist das Energieflussbild des deutschen Energiesystems für die alten Bundesländer im Jahr 1990 aufgezeigt. Aus ihr wird deutlich, dass nur rund 33% der als Primärenergieträger in das System eingehenden Energie beim Verbraucher als Energiedienstleistung nutzbar sind. Von der so entstehenden Nutzenergie entfallen allein 47% auf die Energiedienstleistung „Warmer Wohnraum“, die somit den größten Hot-spot Bereich darstellt.

Abb. 1-1: Anteile der Bedarfsefelder am Globalen Materialaufwand [in 1.000 t TMR] - induzierter direkter und indirekter TMR durch die inländische Produktion für die privaten Haushalte Deutschlands im Jahr 2000



Quelle: Acosta-Fernandez et al. 2009

Abb. 1-2: Beispiel eines Primär-, End- und Nutzenergieflussbildes für die alten Bundesländer im Jahr 1990



Quelle: Wuppertal Institut und Planungs-Büro Schmitz Aachen (2000)

- Trotz der hohen Bedeutung des Gebäudebereichs für die Ressourcenfrage sind Effizienzstrategien dagegen bisher eher rudimentär behandelt worden, so dass hier erstmals Energieeinsparstrategien und die dadurch ausgelöste Nachfrage nach Dämmstoffen gegenüber gestellt werden können.
- Maßnahmen zur Einsparung von Energie und Emissionen im Gebäudebereich gehen bisher implizit davon aus, dass keine negativen Trade-offs entstehen. Ob beispielsweise die Wirkung von Energiesparmaßnahmen möglicherweise durch die für die Herstellung der Dämmmaterialien benötigte Energie wieder aufgehoben wird, lässt sich in einer Überschlagsrechnung vergleichsweise einfach abschätzen. Welche Wechselwirkungen sich letztendlich aus energie- und prozessbedingten Emissionen in Hinblick auf unterschiedliche Umweltwirkungen ergeben, ist dagegen weniger offensichtlich und oft wesentlich von der Ausgestaltung der betrachteten Prozessketten abhängig. Durch die Kopplung eines Gebäude-Energiemodells mit einem Stoffstrommodell kann dies hier erstmals gezielt untersucht werden.
- Insbesondere durch den hohen Aufwand nicht-energetischer Ressourcen im Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ ist zudem eine Analyse der Trade-offs zwischen eher energie- und emissionsgetriebenen und stärker ressourceneffizienzgetriebenen Strategien interessant.
- Nicht zuletzt existiert für die in diesem Bereich relevanten Energieflüsse eine vom Wuppertal Institut entwickelte Bottom-up Methodik, die in dem stock-exchange Gebäudemodell *HEAT* umgesetzt wurde. Innerhalb dieses Modells ist es möglich, die Energieflüsse bis auf Komponentenebene und nach einer vielschichtigen Gebäudetypologie zu differenzieren. Zudem können in dem Modell die Auswirkungen von Wärmedämmmaßnahmen und einer Umstellung auf alternative Heizenergiesysteme abgebildet werden.

Vom Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ abgegrenzt werden muss das Bedarfsfeld „Bauen“, das im Rahmen dieses Projekts aus Kapazitätsgründen nicht betrachtet werden konnte. Eine Veränderung des eigentlichen Baubestandes, die Instandhaltung sowie die bei den Optionen Abriss, Neubau oder Recycling entstehenden Stoffströme sollten in einem Nachfolgeprojekt in die Betrachtung integriert werden.

### **1.3 Das Bottom-up Wirkungsanalyse Modell „Warmer Wohnraum“**

Zur Umsetzung der oben dargestellten Ziele wurde das im Folgenden beschriebene Bottom-up Wirkungsanalyse Modell „Warmer Wohnraum“ entwickelt. Abb. 1-3 zeigt die verschiedenen Module, aus denen das Modell aufgebaut ist.

#### **Modul 1: Modellierung des Bedarfsfelds „Warmer Wohnraum“ mit *HEAT***

Innerhalb des Technologiemoells *HEAT* wird in einer Langfristbetrachtung bis zum Jahr 2050 für verschiedene Szenarien, die sich aus ressourcenpolitischen Vorgaben ableiten, die Entwicklung des Endenergiebedarfs für den Wohnungssektor modelliert, aufgeteilt nach Energiearten. Gleichzeitig wird die direkte Nachfrage nach Dämmstoff-



fen ermittelt, wobei zum Beispiel bei der Berechnung von Dämmstoffmengen eine Auswertung der prognostizierten Anforderungen an Wärmedurchgangskoeffizienten von Gebäudehüllen erfolgt. Betrachtet wird der gesamte Gebäudebestand inklusive Zu- und Abgängen in Deutschland zu den jeweiligen Zeitpunkten 2005, 2010, 2020, 2030, 2040 und 2050.

Im Rahmen des AS6.2 war nicht vorgesehen, eventuell weitere benötigte Baumaterialien, zusätzliche Energiesparmaßnahmen wie den Austausch von Fenstern oder auch den restlichen Baubestand zu bilanzieren. Dies kann jedoch mithilfe der in diesem Pilotprojekt aufgebauten Methodik zukünftig nach entsprechender Datenerhebung ergänzt werden. Ebenso sollte zukünftig auch eine Modellierung auf Haustypen-Ebene erfolgen, so dass detaillierte Aussagen nach einzelnen Regionen und Baualtersklassen getroffen werden können.

## **Modul 2: Umweltwirkungsanalyse**

Die mit *HEAT* berechneten Mengen aus jährlichem Zubau an Dämmstoffen und jährlichem Endenergie-Einsatz in Heizungssystemen im gesamten Gebäudebestand werden anschließend zur Ermittlung ihrer Umweltwirkungen in Stoff- und Energieflussmodelle eingespeist, die mit der Software *Umberto* erstellt werden. Hierbei werden auch direkte Vorgaben aus den MaRess-Szenarien berücksichtigt, die der Tatsache Rechnung tragen, dass ein zukünftig veränderter Strommix erheblichen Einfluss auf die Ökobilanz der Stromerzeugung selbst wie auch energieintensiver Produktionsprozesse (zum Beispiel von Dämmstoffen) haben kann.

Die Bilanzergebnisse werden schließlich einer Umweltwirkungsabschätzung unterzogen, wodurch eine ökologische Gesamtbewertung von eingesetzten Materialien und Energiemengen an Hand verschiedener Umweltwirkungsindikatoren und unter Berücksichtigung der jeweiligen Bereitstellungsvorketten möglich wird. Diese beinhalten Wirkungskategorien auf der Emissionsseite (zum Beispiel Sommersmog, Versauerung von Böden und Gewässern oder die Belastung durch Feinstäube) und auf der Inputseite (energetische und nicht-energetische Rohstoffe).

## **Modul 3: MaRess-Szenarien**

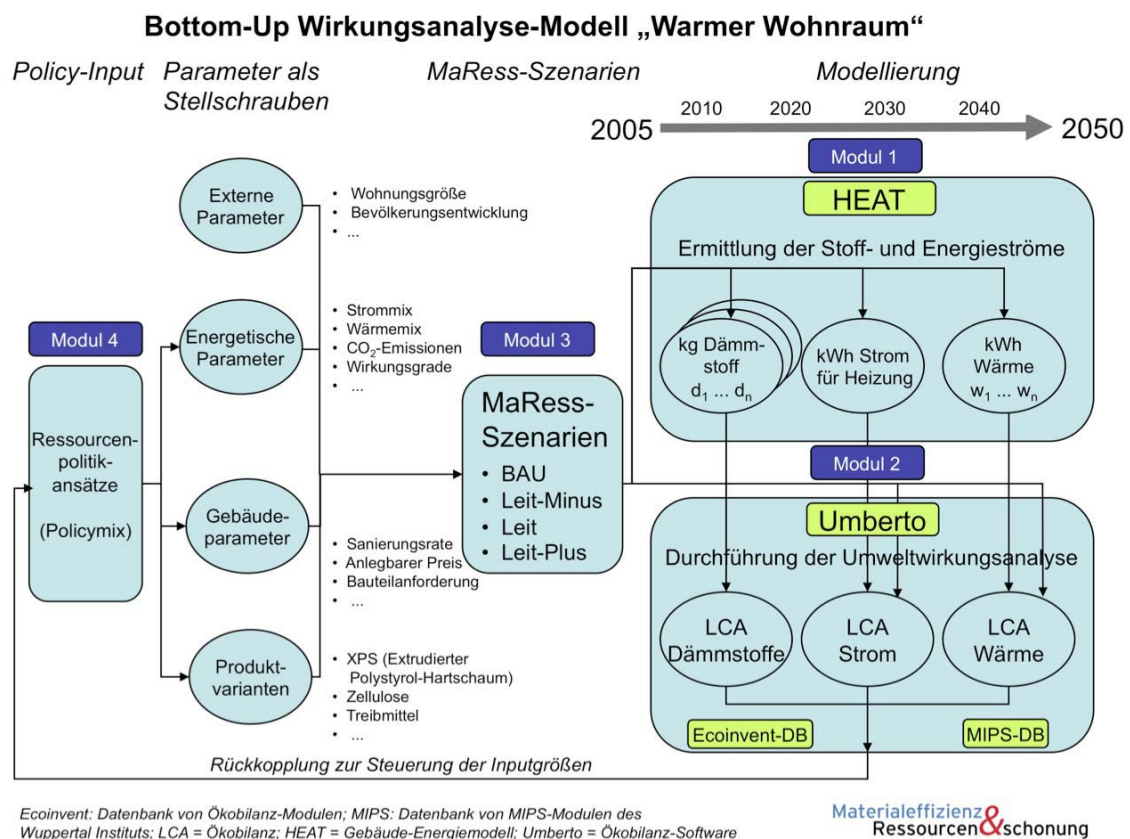
Die Modellierung innerhalb von *HEAT* und *Umberto* basiert auf der Definition und Ausgestaltung verschiedener „MaRess Szenarien“. Diese beschreiben – in einer Langfristsperspektive – mögliche Entwicklungspfade zur Reduzierung des Energiebedarfs (und damit energetischer Ressourcen) des privaten Gebäudesektors. Die Szenarien spannen einen Fächer zwischen niedriger und sehr hoher (politischer) Eingriffstiefe auf. Sie sind zunächst am Instrumentarium der Energiemodellierung orientiert, da hier jahrzehntelange Erfahrung und konkrete politische Vorgaben beziehungsweise Absichtserklärungen vorliegen. Dementsprechend orientieren sie sich an der Zielgröße „CO<sub>2</sub>-Einsparung bis zum Jahr 2050 bezogen auf das Basisjahr 1990“.



Für das hier im Fokus stehende Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ ergeben sich jedoch dennoch entscheidende Vorgaben, die mit entsprechenden Ressourcenverbräuchen einher gehen:

- die sukzessive Reduktion des Gebäudeenergiebedarfs, die in erhöhte Dämmmaßnahmen mündet;
- die zunehmende Umstellung der Wärmeversorgung auf erneuerbare Energien sowie
- ein ebenso zunehmend durch erneuerbare Energien geprägter Strommix, der für einen (kleinen) Teil der Gebäudeheizung relevant ist und auch in die Herstellung der benötigten Dämmmaterialien einfließt.

Abb. 1-3: Modellkonzept für das Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“



Quelle: Eigene Entwicklung

#### Modul 4: Policymix und Einflussparameter

Treiber für die verschiedenen Szenarien sind entsprechende Einflussparameter, die sich durch den Policymix einer Ressourcenpolitik ergeben. Diese auch als Stellschrauben bezeichneten Größen bestimmen den Fächer an Szenarien, der eine Bandbreite möglicher Entwicklungen bis zum Jahr 2050 aufzeigt. Hierzu zählen

- *externe Parameter*, die nicht direkt durch den Policymix, jedoch durch den Gesamtpolitikrahmen beeinflusst werden (zum Beispiel die zukünftige Veränderung der Wohnungsgröße, betrachtet für die verschiedenen Haustypen, oder generell die langfristige Bevölkerungsentwicklung);
- *energetische Parameter*, hier als durchschnittliche Zusammensetzung des Wärmeangebots und des Stromangebots an Haushalte und Industrie sowie Nutzungsgrade der Kraftwerke betrachtet (direkter Einfluss auf Emissionen und Ressourcenverbrauch der Hausheizungen; indirekter Einfluss durch die Vorkette bei der Herstellung von Produkten);
- *Gebäudeparameter* wie etwa die zu erwartende Sanierungsrate im Gebäudebestand, Anforderungen an Bauteilbeschaffenheiten oder anlegbare Preise bezogen auf die Kosten von Sanierungsmaßnahmen;
- *Produktvarianten*, bezogen auf die bei der Sanierung benötigten Dämmmaterialien oder Heizungsanlagen und deren zukünftig in Produktionsprozessen zu erwartenden Veränderungen (ausgelöst zum Beispiel durch technische Innovationen, durch Reduktion des Material- und Energieeinsatzes oder durch Substitution einzelner Produkte durch Ersatzstoffe).

Das Policymix-Modul bekommt schließlich von Modul 2 über den zeitlichen Verlauf verschiedener Wirkungsindikatoren den Grad der Zielerreichung der ursprünglichen Politikansätze zurückgemeldet. Hierdurch wird es möglich, bei Verfehlen der Zielmarken die Politikansätze zu justieren und zu optimieren und die MaRess-Szenarien entsprechend anzupassen.

Die folgenden Kapitel geben eine genauere Darstellung, wie die einzelnen der hier vorgestellten Module implementiert wurden.

## 2 Implementierung des Technologiemoells (Modul 1)

### 2.1 Einsatz von wohnungs- und siedlungspolitischen Instrumenten

Die Abbildung von Politikinstrumenten verlangt eine weiterreichende Differenzierung von politischen Eingriffen in der Tiefe und in der Breite. Dazu sind (computergestützte) thermische Gebäudesimulationen (die für die Bewertung von gebäudespezifischen Einsparmaßnahmen unverzichtbar sind) allein in der Regel nicht ausgelegt. Die zugrunde liegenden mathematischen Modelle umfassen üblicherweise:

- die (dynamische) Wärmeleitung von bauphysikalischen Systemen wie Wände, Decken, Dächer, Fenster, und ähnliches,
- die konvektiven Wärmeübergänge,
- den Temperaturstrahlungsaustausch,
- Luftströmungen im Raum,
- Energiebilanzen an Außenoberflächen von Bauteilen,
- Berechnung von internen Wärmequellen,
- Wärmeabgabe von Heizflächen.

Die Abbildung von wohnungs- und siedlungspolitischen Instrumenten verlangt daneben jedoch eine Erweiterung des Gesamtsystems „Wärmeversorgung von (Einzel-) Gebäuden“. Für die Gesamtbewertung einer integrierten CO<sub>2</sub>- und Ressourcen-Minderungspolitik sind die Modelle hinsichtlich der Abbildung von Wirkungszusammenhängen in den Bereichen

- der ordnungsrechtlichen Maßnahmen,
- der Auswirkungen von finanzieller Förderung und
- einer gezielten Öffentlichkeitsarbeit

zu erweitern.












































### 2.2 Der *HEAT*-Buildings Modellrahmen

Das EDV-System *HEAT* (Household Energy and Appliances modelling Tool) dient der Energie- und Emissionsbilanzierung sowie dem -monitoring im Haushaltssektor und enthält neben einer differenzierten Haushaltsgeräteseite zur Ermittlung des Strombedarfes auf der Wärmeseite eine bauteilspezifische Modellierung des Gebäudebestands Deutschlands. Sie lässt sich an regionale und datentechnische Anforderungen anpassen und kann in ihrer größten Ausprägung 64 Gebäudetypen differenzieren. Abb. 2-1 enthält die wichtigsten Gebäudetypen des deutschen Gebäudebestandes, differenziert nach Gebäudegröße und Gebäudealter.

Ferner wird das *HEAT*-Modell zur Zeit – unabhängig von MaRes – auf einen sogenannten Siedlungstypenansatz weiter entwickelt, der es erlaubt, analog zum Haustypenansatz verschiedene infrastrukturelle Einsparinstrumente sowie zukünftige siedlungsbezogene Versorgungsalternativen abzubilden.

Schließlich findet eine Erweiterung auf dem Gebiet der Klimatisierung statt, die analog zur Berechnung des Heizenergiebedarfes mittels der Simulation über den Haustypologiansatz den Klimatisierungsaufwand bei steigenden Innentemperaturen durch zum Beispiel hohe Verglasungsanteile, Passivhausbauweisen usw. ermittelt sowie den Aspekt der steigenden Außentemperaturen im Rahmen von Langfristszenarien aufgreift.

Abb. 2-1: Der deutsche Gebäudebestand im Jahr 2006

Deutsche Gebäudetypologie – Häufigkeit von Gebäudetypen unterschiedlichen Baualters													
		Baualtersklassen										Summe	Anteil
		vor 1918	vor 1918	1919 - 1948	1949 - 1957	1958 - 1968	1969 - 1978	1979 - 1983	1984 - 1994	1995 - 2001	2002 - 2006		
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J		
Gebäudetypen*	<b>EFH</b>												
	Wohnfläche in Tsd. m²	81.503	148.776	168.937	174.251	235.409	223.135	112.631	236.441	255.280	103.208	1.739.571	52%
	Anz. Wohneinh. in Tsd.	916	1.707	2.010	1.915	2.274	1.867	936	2.055	1.994	671	16.345	42%
	<b>RH</b>												
	Wohnfläche in Tsd. m²		14.543	31.450	21.993	35.996	61.478	24.503	32.951	33.366	11.675	267.955	8%
	Anz. Wohneinh. in Tsd.		145	326	231	348	517	202	281	285	83	2.418	6%
	<b>MFH</b>												
	Wohnfläche in Tsd. m²	31.974	109.337	135.827	117.051	149.881	122.930	61.044	118.019	154.740	24.267	1.025.070	31%
	Anz. Wohneinh. in Tsd.	462	1.501	2.034	1.912	2.210	1.677	821	1.712	2.240	296	14.865	38%
	<b>GMH</b>												
	Wohnfläche in Tsd. m²		31.549	10.160	38.936	47.501	46.124					174.270	5%
	Anz. Wohneinh. in Tsd.		448	169	703	784	697					2.801	7%
	<b>HH</b>												
	Wohnfläche in Tsd. m²					12.617	12.988					25.605	1%
	Anz. Wohneinh. in Tsd.					198	198					396	1%
	<b>MFH NBL</b>												
	Wohnfläche in Tsd. m²				14.324	24.418						38.742	1%
	Anz. Wohneinh. in Tsd.				329	408						737	2%
	<b>GMH NBL</b>												
	Wohnfläche in Tsd. m²						22.976	19.899	17.977			60.852	2%
	Anz. Wohneinh. in Tsd.						390	336	305			1.031	3%
	<b>HH NBL</b>												
	Wohnfläche in Tsd. m²						16.823	4.230				21.053	1%
	Anz. Wohneinh. in Tsd.						310	67				377	1%
<b>Wohnfläche in Tsd. m²</b>		113.477	304.205	346.374	366.555	505.822	506.454	222.307	405.388	443.386	139.150	3.353.118	
<b>Anteil</b>		3%	9%	10%	11%	15%	15%	7%	12%	13%	4%		
<b>Anz. Wohneinh. in Tsd.</b>		1.378	3.801	4.539	5.090	6.222	5.656	2.362	4.353	4.519	1.050	38.970	
<b>Anteil</b>		4%	10%	12%	13%	16%	15%	6%	11%	12%	3%		

\* ) EFH = Einfamilienhaus, RH = Reihenhäuser, MFH = Mehrfamilienhaus, GMH = großes Mehrfamilienhaus, HH = Hochhaus, NBL = neue Bundesländer

Quelle: IWU (2009)

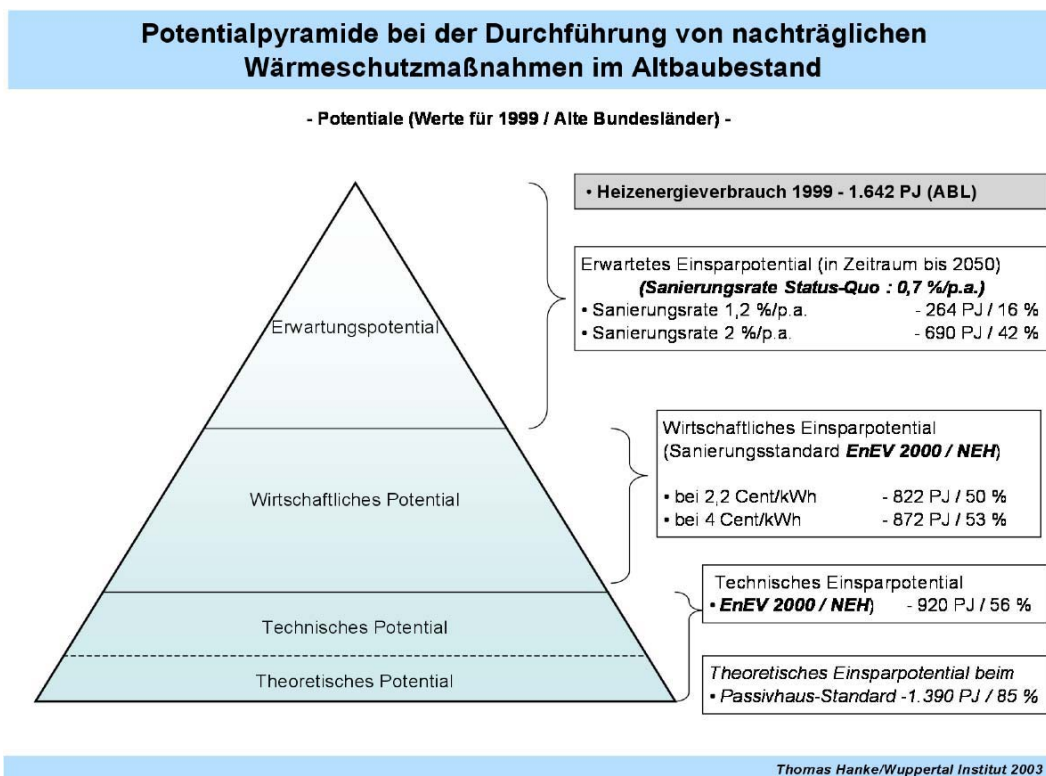
Da im Weiteren der Modellteil der Gebäudesimulation ausschließlich für die vorliegende Untersuchung verwendet worden ist, werden die Bezeichnungen *HEAT-Buildings* sowie *HEAT* äquivalent verwendet beziehungsweise der Zusatz *-Buildings* weggelassen. Gemeint ist in der Regel immer der Gebäude-Modellteil.

## 2.3 Die HEAT-„Philosophie“

Ansatzpunkte zur Einsparung des Energiebedarfes können recht unterschiedlich sein und reichen von rein technischen Maßnahmen (Leitindikator: *Effizienzstandards*) bis hin zu Veränderungen im Umgang mit Energie und Lebensstilen (Suffizienzmaßnahmen, zum Beispiel Lüftungsverhalten). Eines der zentralen Probleme bei der Auswahl von Einsparmaßnahmen ist, von welchen Faktoren eine hohe Umsetzung dieser Maßnahmen (Leitindikator: *Umsetzungsrate*) abhängig ist (Wahl der Technik, Kosten usw.) und wie sich Einsparmaßnahmen erfolgversprechend installieren lassen. Diese zentralen Gesichtspunkte versucht das *HEAT-Modell* in seiner zu Grunde liegenden „*HEAT-Philosophie*“ zu berücksichtigen.

Der Umsetzung von Maßnahmen stehen dabei verschiedene Hemmnisse entgegen, die auf unterschiedlichen Ebenen angesiedelt sind. Dabei lassen sich diese Ebenen als Schichten einer Pyramide darstellen, bei der nach oben immer weniger des ursprünglich zur Verfügung stehenden Potenzials erreichbar ist (siehe Abb. 2-2).

Abb. 2-2: Potenzialpyramide



Quelle: Eigene Darstellung



Das Modell *HEAT* verarbeitet Eingriffe in den Wärmemarkt auf den drei Ebenen:

1. Technisches und theoretisches Potenzial,
2. wirtschaftliches Potenzial,
3. Erwartungs- und Umsetzungspotenzial.

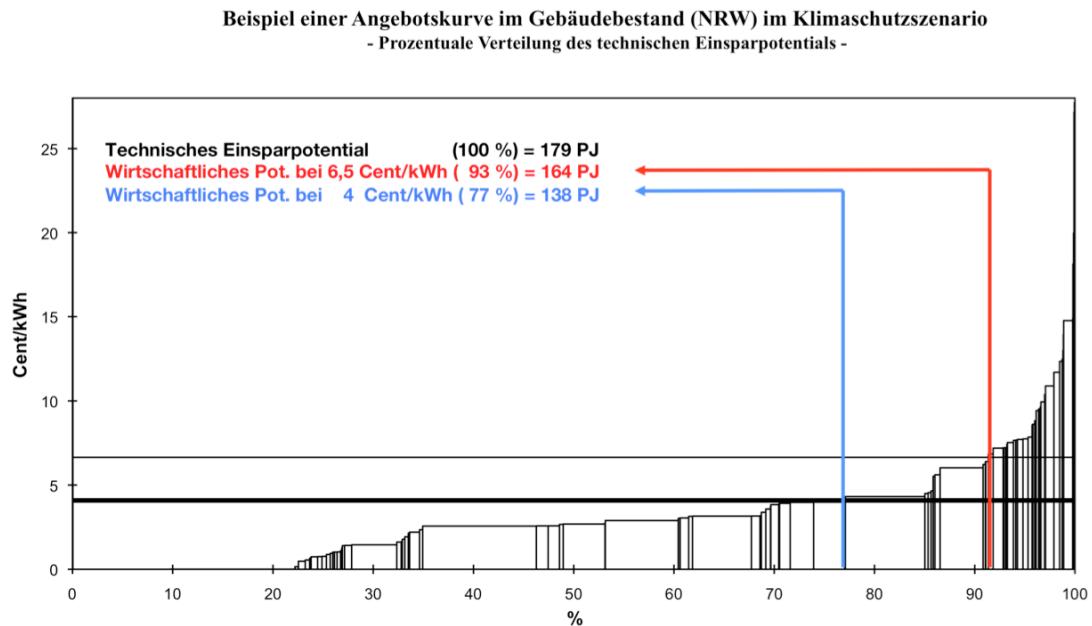
Alle Maßnahmen, die den Energieverbrauch auf der Wärmeseite senken, fasst man unter dem *technischen Potential* zusammen. Damit sind Maßnahmen gemeint, die unter Berücksichtigung der heute eingesetzten und bekannten Techniken zur Verfügung stehen. Techniken, die zum Beispiel erst unter Laborverhältnissen Anwendung finden, die also mit den derzeitigen natur- und ingenieurwissenschaftlichen Kenntnissen begründet werden können, aber noch nicht marktfähig sind, werden unter dem Begriff *theoretisches Potential* zusammengefasst. Damit kann *HEAT* reine Potenzialszenarien auf der Grundlage von Zukunftstechnologien verarbeiten.

Bei den meisten Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebereich bestehen derzeit geringe wirtschaftliche Anreize, um in wärmeschützende Dämmung und Fenster zu investieren, da bei derzeitigen Energiepreisen keine ökonomische Notwendigkeit besteht, Brennstoffe einzusparen. Maßnahmen, die unter das *wirtschaftliche Potential* fallen, sind aus betriebswirtschaftlicher Sicht günstiger als der Energiepreis. Das wirtschaftliche Potential steigt generell an, wenn der mittlere zukünftige Energiepreis unter Berücksichtigung der externen Kosten berechnet wird. Dieser Prozess kann durch Veränderung der Rahmenbedingungen (zum Beispiel Energiesteuer, strengere Verordnungen) oder durch die Minimierung der Produktionskosten von Dämmsystemen (zum Beispiel Massenfertigung) erfolgen.

*HEAT* berücksichtigt Energieeinsparmaßnahmen auf der Grundlage ökonomischer Vorgaben innerhalb einer Wirtschaftlichkeitsgrenze beziehungsweise eines -bereiches und bilanziert weiterhin die (annuitätischen) betriebswirtschaftlichen Einzelkosten von Maßnahmen bis zu den volkswirtschaftlichen Gesamtkosten. In der Abb. 2-3 ist eine so genannte Angebotskurve aufgetragen. Sie verdeutlicht, welche Einsparmaßnahmen bei Anlegung eines externen Preises auf der y-Achse (zum Beispiel Energiepreis) unterhalb dieser gesetzten Wirtschaftlichkeitsgrenze liegen und welche Gesamteinsparung zu erzielen ist (x-Achse).

Auch den Maßnahmen, deren betriebswirtschaftliche Rentabilität gewährleistet ist, steht eine Vielzahl von Umsetzungshemmnissen gegenüber. Daher reduzieren sich die Umsetzungsraten auf ein sogenanntes *Erwartungspotential*. Zum großen Teil sind die detaillierten Informationen über Einsparmaßnahmen an der Gebäudehülle oder die Möglichkeiten, das eigene Verhalten zu korrigieren, nicht bekannt, oder es besteht eine Ungleichheit von Aufwendungen zum Nutzen von Energieeinsparungen („Investor-Nutzer-Dilemma“). *HEAT* enthält Funktionen, die mittels Expertenschätzungen oder empirischen Untersuchungen innerhalb des Szenarioprozesses sogenannte Umsetzungspfade generieren.

Abb. 2-3: Angebotskurve der Einsparung im Gebäudebestand (am Beispiel von Nordrhein-Westfalen)



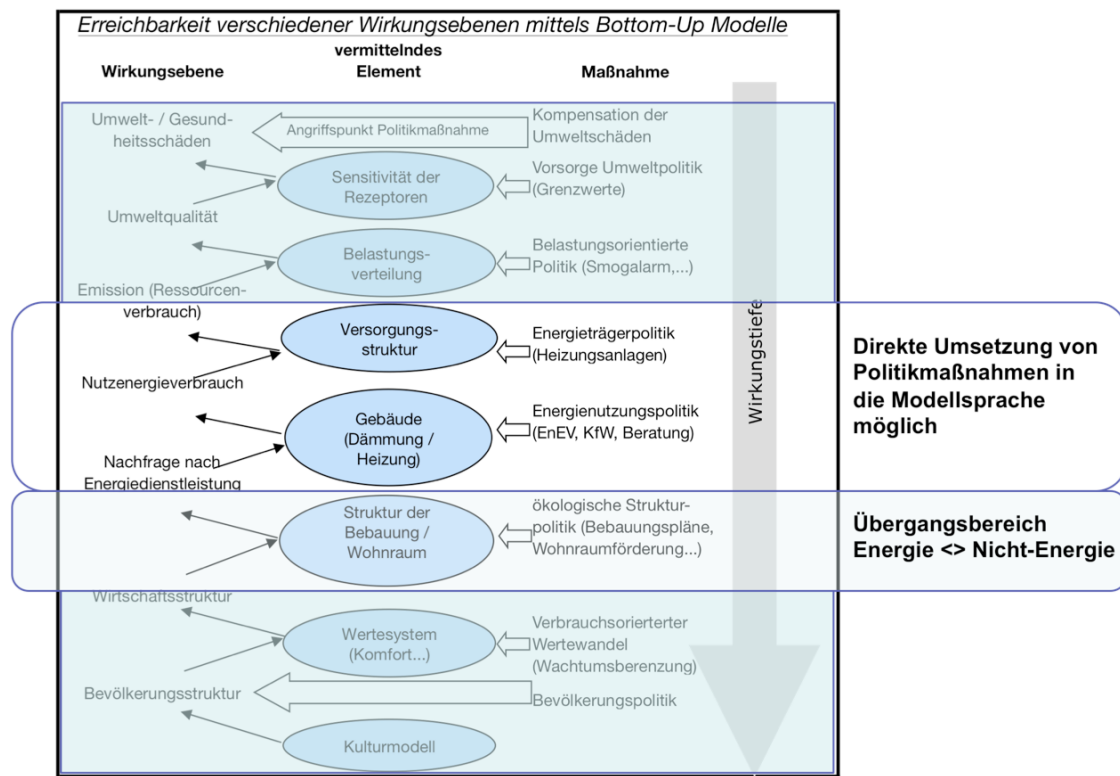
Quelle: Eigene Darstellung

## 2.4 Der Einsatz von *HEAT* in MaRes

Wie oben dargelegt, ist *HEAT* darauf ausgerichtet, Maßnahmen auf den verschiedenen Ebenen der politischen Eingriffe in das Energiesystem abzubilden. Diese reichen, wie die Abb. 2-4 illustriert, von reinen Kompensationsmaßnahmen bis zu Eingriffen in Werte- und Kulturmodelle von Gesellschaften. Die geeignete Ebene von politischen Maßnahmen im Raumwärmebereich privater Haushalte liegt auf der technischen Ebene, beispielsweise durch Vorgaben der Energieeinsparverordnung (EnEV), des erneuerbaren Energien-Wärmegesetzes und der Heizanlagenverordnungen. Flankiert wird dieser Bereich durch Maßnahmen einer ökologischen Strukturpolitik (zum Beispiel Verhaltensänderungen, Ausschreibung Passivhäuser in Bebauungsplänen).

Daher eignet sich diese Vorgehensweise für die Analyse von Wirkungszusammenhängen auf der wärmetechnischen Seite und deren Auswirkungen auf der Material- und Ressourcenseite. Durch die Weiterentwicklung und die Hinzunahme der MIPS-Indikatoren abiotischer Verbrauch, biotischer Verbrauch, Wasser und Luft sowie Brennstoffverbrauch konnten innerhalb des Modells *HEAT* (am Beispiel der Dämmvarianten XPS und Zellulose) auch die Nettoeffekte gesondert berechnet werden, das heißt der Material- und Energiemehraufwand gegenüber den Material- und Energieeinsparungen durch wärmetechnische Maßnahmen im Altbaubestand analysiert werden.

Abb. 2-4: Erreichbarkeit von Politikinstrumenten auf verschiedenen Ebenen des Bottom-up Wirkungsanalyse-Modells



Quelle: Eigene Darstellung (nach Prittwitz 2007)



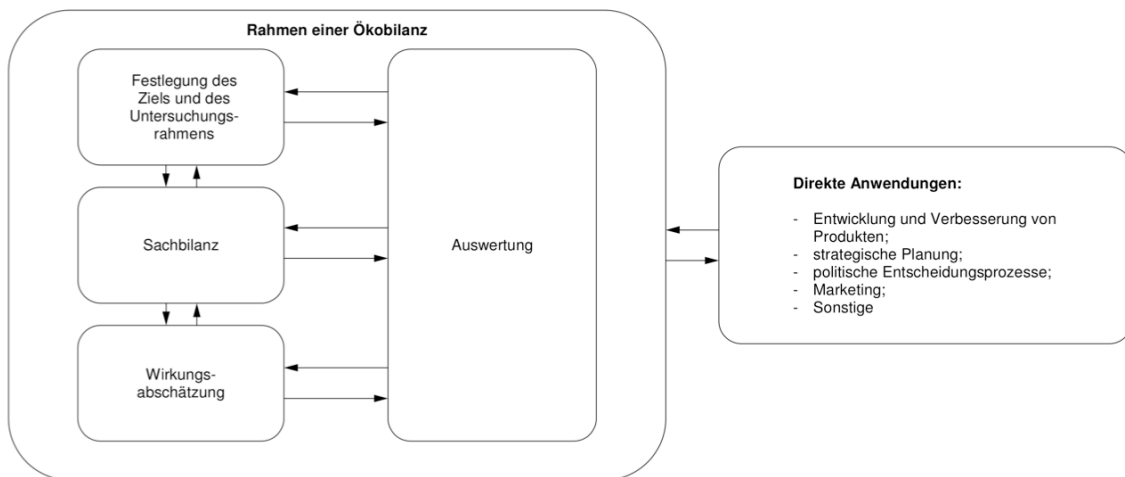
### 3 Implementierung des Stoffstrommodells (Modul 2)

Wie im Modellkonzept dargestellt, werden die in HEAT bestimmten direkten Materialflüsse einer Umweltwirkungsanalyse unterzogen, die im Rahmen einer Ökobilanz durchgeführt wird.

Die ISO-Normen 14040 „Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen“ (DIN 2006a) und 14044 „Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen“ (DIN 2006b) dienen der Erstellung von Produktökobilanzen auf einer einheitlichen Grundlage, wobei ein methodischer Rahmen definiert wird, aber keine Methodenfestlegung für einzelne Schritte erfolgt. Die Anwendung der Norm soll die Transparenz und Glaubwürdigkeit von Ökobilanzstudien erhöhen und ihre Vergleichbarkeit untereinander gewährleisten.

Die hier durchgeführte Ökobilanz-Untersuchung stellt keine vollständig ISO-konforme Studie dar, orientiert sich aber dennoch an den dort festgelegten und in Abb. 3-1 dargestellten Arbeitsschritten: Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen, Erstellung einer Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung. Detaillierte Beschreibungen des Ökobilanz-Rahmens nach ISO 14040/14044 können den entsprechenden Normen entnommen werden.

Abb. 3-1: Rahmen einer Ökobilanz nach ISO 14044/14044



Quelle: DIN 2006a:16

#### 3.1 Ziel und Untersuchungsrahmen

*Ziel* der Stoffstromanalyse ist es, direkte Material- und Energieflüsse, die aus HEAT übernommen werden, unter Berücksichtigung der von ihnen verursachten indirekten Ressourcenextraktionen und Emissionen im Zeitverlauf in Hinblick auf verschiedene Umweltbeeinträchtigungen und deren Interdependenzen analysieren zu können. Dies zielt darauf ab, Wechselwirkungen von politischen Maßnahmen zur effizienten Nutzung

von Energieressourcen (Dämmstrategien) mit anderen gesellschaftspolitischen Zielen (insbesondere Klimaschutzzielen) zu identifizieren.

In methodischer Hinsicht ist es auch Ziel der Untersuchung, Möglichkeiten zur Dynamisierung sonst oft statischer Ökobilanz-Modelle aufzuzeigen. Hierzu werden verschiedene Modellparameter variabel gestaltet, in Tabellen verwaltet und mit dem Stoffstrommodell verknüpft.

Der *Untersuchungsrahmen* wird zunächst definiert durch das Produktsystem, das Gegenstand der Analyse ist. Dieses besteht aus der Summe der berücksichtigten Teilprozesse und Stoffströme – hier drei wesentlichen Komponenten, die in einem Stoffstromnetz in der Ökobilanz-Software Umberto als miteinander verknüpfte Submodelle angelegt sind. Stoffstromnetze bestehen aus miteinander verknüpften Prozessen oder Transitionen, die als Orte der Stoffumwandlung Materialinputs (Rohstoffe, Vorprodukte) in Materialoutputs (Produkte, Emissionen und Abfälle) transformieren. Die Stoffströme werden unter Berücksichtigung der Flussrichtung, die durch Verbindungen vorgegeben werden, über sogenannte Stellen an weitere Prozesse verteilt oder passieren als In- oder Outputs die Systemgrenze des bilanzierten Produktsystems.

Die Submodelle, die auch auf der in Abb. 3-2 dargestellten Hauptebene des Modells erkennbar sind, werden im Folgenden zusammenfassend beschrieben.

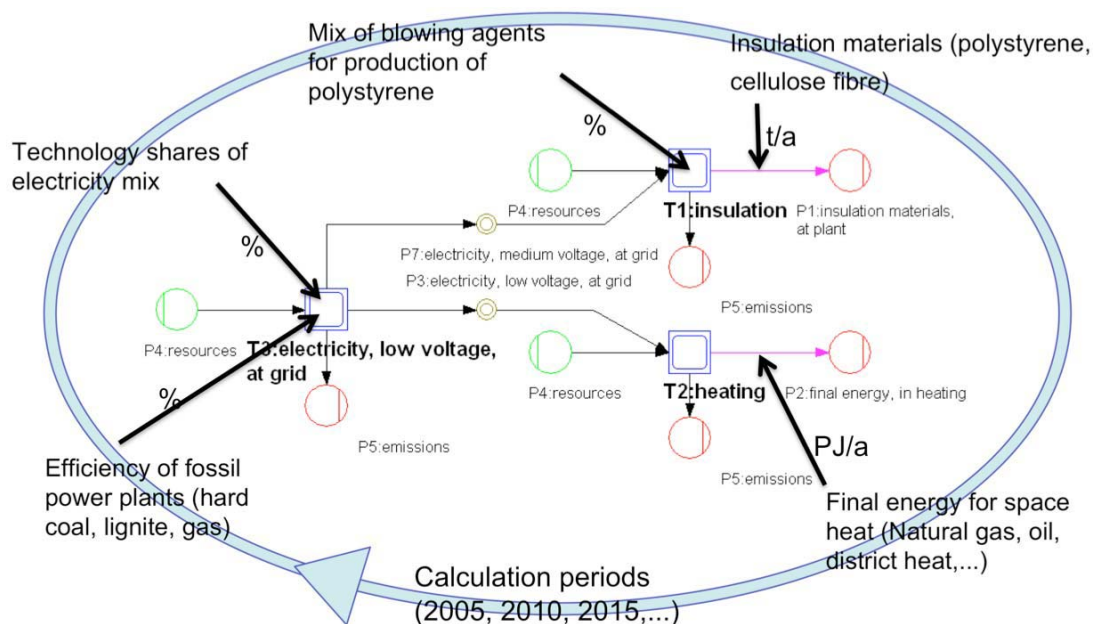
- *Herstellung von Dämmstoffen (Submodell T1, „Insulation“)*: Das Modell umfasst für die Dämmstoffe Zellulose und XPS Aufwendungen der Herstellung, Verpackung und Transport der Produkte unter Einbeziehung der Produktions-Infrastruktur. Im Fall der Zellulose-Flocken ist der zusätzliche Strombedarf für das Einblasverfahren des Dämmstoffes ebenfalls berücksichtigt.
- *Gebäudebeheizung (Submodell T2, „Heating“)*: Bestandteile des Modells sind die Bereitstellungsvorketten der Endenergieträger bis zur Gewinnung der Rohstoffe, Anlageninfrastruktur (zum Beispiel Heizkessel oder Öltank) sowie der Eigenstromverbrauch der Heizungstechnologien.
- *Strombereitstellung (Submodell T3, „Electricity, at grid“)*: Dieses Submodell stellt Strom ab Netzananschlusspunkten auf der Mittel- und Niederspannungsebene bereit, der von Prozessen in den beiden anderen Submodellen angefordert wird, um ihren direkten Bedarf etwa zur Herstellung von Polystyrol-Dämmstoff oder zum Betrieb von elektrischen Wärmepumpen zu decken. Das Modell bildet die Stromgestehung in Deutschland ab und beinhaltet Kraftwerksinfrastruktur, Brennstoffbereitstellung und -umwandlung sowie Stromtransporte unter Berücksichtigung von Verlusten sowie Transport- und Verteilinfrastruktur (Hoch-, Mittel- und Niederspannungstransport und Umspannung).

Durch die Definition von Abschneidekriterien lassen sich Stoffströme von der Bilanzierung ausschließen, deren voraussichtlicher Beitrag zur Gesamtumweltwirkung als unwesentlich eingestuft wird. Hierzu wurden keine eigenen Festlegungen getroffen, da für die Bilanzierung auf vorhandene Ökobilanz-Module aus eigenen Projekten oder kom-

merziellen Datenbanken zurückgegriffen wurde. Es gelten die Angaben in den jeweiligen Prozessbeschreibungen der Datenbank-Anbieter.

Als Bezugsgröße von Ökobilanzergebnissen werden aus der Funktion eines Produktsystems eine funktionelle Einheit sowie ein aus ihr resultierender Referenzfluss definiert. ISO 14040 nennt als Beispiel die Funktion des Händetrocknens mit zwei verschiedenen Produktsystemen, die Heißluft beziehungsweise Papier einsetzen. Als funktionelle Einheit kann dann die Anzahl getrockneter Handpaare definiert werden, Referenzfluss kann die benötigte Masse Papier oder das benötigte Volumen Heißluft sein. (DIN 2006a:24).

Abb. 3-2: Hauptnetz des Stoffstrommodells und periodenabhängige Inputs von Referenzflüssen und Parametern



Quelle: Eigene Darstellung

Im vorliegenden Modell wird als *Funktion* des Systems die Bereitstellung von warmem Wohnraum definiert. Als *funktionelle Einheit* kann der zu beheizende Wohngebäudebestand in Deutschland betrachtet werden, der für jedes Stützjahr des Modells durch HEAT ermittelt wird. Durch HEAT bereitgestellt werden dann mögliche Kombinationen aus jährlichem Zubau an Dämmstoffen in t/a und jährlichem Endenergie-Einsatz in Heizungssystemen in PJ/a, die geeignet sind, die Systemfunktion zu erfüllen. Diese Material- und Endenergiemengen stellen die Referenzflüsse der Stoffstromanalyse dar, die für jede Berechnungsperiode in das in Abb. 3-2 gezeigte Modell eingespeist werden. Der Datensatz in Tab. 3-1 zeigt beispielhaft die Referenzflüsse, die im Szenario MaRes BAU für jede Berechnungsperiode von HEAT an das Stoffstrommodell übergeben werden.

Tab. 3-1: Referenzflüsse im Szenario *MaRes BAU*

Ökobilanz-Referenzfluss HEAT	Ein- heit	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
XPS-Dämmung	kg	0,0	58161,1	58161,1	58161,1	81425,6	104690,0	46034,4
Konv. Fernwärme	PJ	160,8	157,1	153,5	146,7	116,3	103,2	90,0
REG-Nahwärme Solar	PJ	0,0	3,6	3,6	7,2	10,8	14,4	18,0
REG-Nahwärme Geothermie	PJ	0,7	3,2	9,0	12,0	16,0	33,0	50,0
REG-Nahwärme Biomasse	PJ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fernwärme Summe (Zentral)	PJ	161,5	163,9	166,1	165,9	143,1	150,6	158,0
Öl-NT (Zentral)	PJ	900,6	823,5	790,4	733,8	571,0	466,1	343,7
Gas-NT (Zentral)	PJ	1002,1	894,4	808,8	679,1	573,4	459,9	346,6
Kohle-Z (Zentral)	PJ	11,0	10,2	10,5	9,6	9,4	8,2	6,9
Strom-Z (Zentral)	PJ	3,7	3,5	3,3	3,1	3,0	2,1	1,5
Gas (Etag)	PJ	99,1	84,7	75,8	73,4	70,4	42,6	35,5
Öl (Einzel)	PJ	18,0	13,8	8,4	5,0	4,6	4,1	3,5
Gas (Einzel)	PJ	9,5	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kohle (Einzel)	PJ	29,1	15,7	4,7	4,5	4,2	3,7	3,0
Strom (Einzel)	PJ	124,8	111,6	106,4	104,6	96,6	56,2	34,9
Strom-WP (Effizienz)	PJ	8,1	8,1	8,5	10,8	10,8	14,9	16,4
Gas-WP (Effizienz)	PJ	0,0	0,4	0,7	1,6	2,4	2,9	4,3
Gas-Brennwert (Effizienz)	PJ	2,4	78,4	119,9	201,1	361,0	469,5	490,8
Solar (Effizienz)	PJ	5,0	9,7	11,9	13,5	18,0	29,0	40,0
Biomasse (Effizienz)	PJ	27,0	26,0	24,0	23,0	20,0	18,1	16,3
REG = Regenerative Energie; NT = Niedertemperatur; WP = Wärmepumpe								

Quelle: eigene Berechnungen

Bestandteil des Untersuchungsrahmens ist auch die Festlegung des Systems, mit dessen Hilfe die Abschätzung der Umweltwirkungen der ermittelten Stoff- und Energieströme erfolgen soll. Die Umweltwirkungsabschätzung erfolgt hier nach der CML-Methode unter Berücksichtigung ihrer Baseline-Indikatoren (siehe Kapitel 3.3).

### 3.2 Sachbilanz

Jedes der in Kapitel 3.1 genannten Submodelle wird auf untergeordneten Ebenen durch entsprechende Subnetze konkretisiert. Um die Kompatibilität des Stoffstrommodells mit dem Gebäudemodell, auf dem es aufbaut, zu gewährleisten, ist es zunächst notwendig, die in *HEAT* berücksichtigten Heizungstypen und Dämmstoffe in einem Stoffstromnetz zu spiegeln – ihnen also äquivalente Umwandlungs- beziehungsweise Bereitstellungs-Prozessketten gegenüberzustellen.

Tab. 3-2: Produkte und Technologien in *HEAT* und ihre Äquivalenzprozesse im Stoffstrommodell

Produkte und Heizungs-systeme in HEAT	Durch Äq.-Prozess dargestellt zu...	Äquivalenzprozesse im Stoffstrommodell	Quelle
Dämmstoff XPS	100%	Polystyrol, extrudiert (XPS), ab Werk [RER]	ecoinvent 2.1
Dämmstoff Zellulose	100%	Zellulosefasern, inklusive Einblasen, ab Werk [CH]	ecoinvent 2.1
Öl-Zentralheizung	100%	Heizöl EL, in Heizkessel 100kW, nicht-modulierend [CH]	ecoinvent 2.0
Öl-Einzelheizung	100%	Heizöl EL, in Heizkessel 10kW, nicht-modulierend [CH]	ecoinvent 2.0
Gas-Etagenheizung	100%	Erdgas, in Heizkessel atm. Brenner nicht-mod. <100kW [RER]	ecoinvent 2.0
Gas-Zentralheizung	100%	Erdgas, in Heizkessel atm. LowNOx kond. nicht-mod. <100kW [RER]	ecoinvent 2.0
Gas-Einzelheizung	100%	Erdgas, in Heizkessel atm. LowNOx nicht-mod. <100kW [RER]	ecoinvent 2.0
Gas-Brennwert	100%	Erdgas, in Heizkessel Gebläsebrenner LowNOx nicht-mod. <100kW [RER]	ecoinvent 2.0
Kohle-Einzelheizung	50%	Braunkohle-Brikett, in Einzelofen 5-15kW [RER]	ecoinvent 2.0
Kohle-Einzelheizung	50%	Steinkohle-Brikett, in Einzelofen 5-15kW [RER]	ecoinvent 2.0
Kohle-Zentralheizung	100%	Steinkohle-Brikett, in Einzelofen 5-15kW [RER]	ecoinvent 2.0
Biomasse	90%	Pellets, Holzmix, in Feuerung 15kW [CH]	ecoinvent 2.0
Biomasse	10%	Stückholz, Holzmix, in Feuerung 30kW [CH]	ecoinvent 2.0
Gas-Wärmepumpen	100%	Erdgas, in Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe 4kW, zukünftig [CH]	ecoinvent 2.0
Solarheizung	100%	Sonnenenergie umgew. in Flachkollektoranlage, Einfamilienhaus, für Wärmespeicher [CH]	ecoinvent 2.0
Konventionelle Fernwärme (HKW StK)	50%	Nutzwärme, ab HKW Steinkohle, Allokation GEMIS	Umberto Standard Library 5.5
Konventionelle Fernwärme (HKW Gas)	50%	Nutzwärme, ab BHKW 1MWel Mager, Allokation Exergie [RER]	ecoinvent 2.0
REG-Nahwärme Solar	100%	Nutzwärme, ab solarer Nahwärmanlage, Kies-Wasser-Speicher	DLR et al. (2004)
REG-Nahwärme Geothermie	100%	Wärme, ab Geothermiekraftwerk Hot Dry Rock	DLR et al. (2004)
REG-Nahwärme Biomasse	100%	Nutzwärme, ab BHKW, mit Gasmotor, Biogas Landw. abgedeckt, Allokation Exergie [CH]	ecoinvent 2.0
Strom-Zentralheizung	100%	Strom, Niederspannung, Produktion DE, ab Netz [DE]	ecoinvent 2.0
Strom-Einzelheizung	100%	Strom, Niederspannung, Produktion DE, ab Netz [DE]	ecoinvent 2.0
Strom-Wärmepumpe	100%	Strom, Niederspannung, Produktion DE, ab Netz [DE]	ecoinvent 2.0

REG = Regenerative Energie; HKW = Heizkraftwerk, Quelle: eigene Zusammenstellung



In den meisten Fällen wurde hierbei auf vorhandene Datensätze aus der LCA-Prozessdatenbank ecoinvent in der Version 2.0 und 2.1 zurückgegriffen, die auf Grundlage eigener Annahmen ausgewählt wurden. So wird beispielsweise der *HEAT*-Heizungstyp „Kohle-Einzelheizung“ im Stoffstromnetz zu jeweils 50% mit Hilfe der Prozesse „Braunkohle-Brikett, in Einzelofen 5-15 kW“ und „Steinkohle-Brikett, in Einzelofen 5-15 kW“ abgebildet. Eine Übersicht der jeweils gewählten Äquivalenzprozesse zeigt Tab. 3-2.

Die genannten ecoinvent-Prozessmodule werden in Ökobilanzen meist als sogenannte Result-Prozesse verwendet, die das durch sie beschriebene System als Black-box des gesamten Lebensweges abbilden und dessen Stoffströme kumuliert ausweisen. Die Verwendung dieser Module bietet sich an, wenn keine Änderungen an verwendeten Prozessen vorgenommen werden sollen. Es ist dagegen aber nicht möglich, aus ihrer Spezifikation Rückschlüsse darauf zu ziehen, welcher Anteil der ausgewiesenen Emissionen auf einzelne Vorprozesse entfällt.

Sollen dagegen ecoinvent-Prozesse gemäß eigener Annahmen geändert werden (etwa in Form der Anpassung des Strombezugs an einen veränderten Strommix), so bietet sich stattdessen die Nutzung von Unit-Prozessen an, die ebenfalls Bestandteil der ecoinvent-Datenbank sind. Sie weisen outputseitig ausschließlich direkte Emissionen des Prozesses aus, den sie beschreiben (zum Beispiel Luftemissionen der Ölverbrennung in einer Ölheizung). Als Inputs listen ihre Spezifikationen keine kumulierten Elementarflüsse (zum Beispiel chemische Verbindungen) der gesamten Prozesskette auf, sondern nennen weitere Prozesse, die dem Unit-Prozess vorgeschaltet werden müssen, um eine explizite Darstellung seiner Prozesskette zu erhalten. Im Fall der Ölheizung handelt es sich dabei zum Beispiel um Prozesse der Bereitstellung von Heizöl und Strom sowie der Anlageninfrastruktur (Heizkessel, Kamin und Öltank). Ein Beispiel für die Result- (links) und Unit-Darstellung (rechts) desselben Heizöl-Moduls zeigt Abb. 3-3 auszugsweise.

Abb. 3-3: Result- und Unit-Prozesse in ecoinvent

Var	P.	Material	Coeffici...	B...	Var	P.	Material	Coeffici...	B...
X001	P4	Aluminium, 24% in bauxite, 11% in crude c3.4501E-6 kg			TT001	P6	light fuel oil, burned in boiler 10kW, non-m	1 MJ	
X002	P4	Anhydrite, in ground [resource/in ground]	1077E-10 kg		Y001	P5	1,4-Butanediol [air/high population density]	7357E-15 kg	
X003	P4	Barite, 15% in crude ore, in ground [resou.00010437 kg			Y002	P5	2-Propanol [air/high population density]	2198E-10 kg	
X004	P4	Basalt, in ground [resource/in ground]	1.6436E-6 kg		Y003	P5	Acenaphthene [air/high population density]	6345E-15 kg	
X005	P4	Borax, in ground [resource/in ground]	5587E-10 kg		Y004	P5	Acenaphthene [air/low population density]	9051E-16 kg	
X006	P4	Cadmium, 0.30% in sulfide, Cd 0.18%, Pb	2.111E-9 kg		Y005	P5	Acenaphthene [air/unspecified]	9855E-18 kg	
X007	P4	Calcite, in ground [resource/in ground]	00038806 kg		Y006	P5	Acetaldehyde [air/high population density]	2.1596E-8 kg	
X008	P4	Carbon dioxide, in air [resource/in air]	7.2518E-5 kg		Y007	P5	Acetaldehyde [air/low population density]	1098E-11 kg	

Var	P.	Material	Coeffici...	B...	Var	P.	Material	Coeffici...	B...
FT001	P1	light fuel oil, at regional storage [CH]	0.02342 kg		TT001	P6	light fuel oil, burned in boiler 10kW, non-m	1 MJ	
FT003	P1	oil boiler 10kW [CH, Infra]	5.6138E-7 unit		Y001	P5	Heat, waste [air/high population density]	1.0716 MJ	
FT004	P1	chimney [CH, Infra]	1.3228E-6 m		Y002	P5	Acetaldehyde [air/high population density]	2.05E-8 kg	
FT005	P1	oil storage 3000l [CH, Infra]	1.4092E-7 unit		Y003	P5	Acetone [air/high population density]	5E-8 kg	
X01	P3	electricity, low voltage, production DE, at (1.0036028 kWh			Y004	P5	Acrolein [air/high population density]	1.15E-8 kg	

Quelle: Umberto-Screenshot

Um im Rahmen der Modellbildung Parametervariationen abbilden zu können, wurde deshalb an verschiedenen Stellen auf Unit-Prozesse zurückgegriffen, deren Vorketten entsprechend angepasst wurden. Dies gilt insbesondere für alle Prozesse mit direktem Strombezug: Hier wird die Nachfrage über Verbindungen in das eigene dynamische Strom-Submodell gedeckt, anstatt den statischen Strommix der ecoinvent-Prozesskette zu verwenden.

Auch im Strom-Submodell selbst wurden Unit-Prozesse verwendet, um ein Stoffstrommodell zu erstellen, das ab der Bereitstellung von Strom auf der Nieder- und Mittelspannungsebene in Upstream-Richtung den Stromtransport und die nach Kraftwerkstechnologien differenzierte Umwandlung explizit abbildet. Auf diese Weise ist es möglich, über die Variation von Wirkungsgraden fossiler Kraftwerke und insbesondere die Anpassung des Erzeugungsmixes direkt auf die Vorkette der Strombereitstellung Einfluss zu nehmen und mögliche zukünftige Entwicklungen wie in Energieszenarien dargestellt in die Ökobilanz zu integrieren. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass nur der Mix, überwiegend aber nicht die technischen Eigenschaften der Kraftwerke verändert werden, so dass weitere technische Fortschritte etwa im Bereich des Upscalings von Windkraftanlagen zunächst unberücksichtigt bleiben. Der beschriebenen Methode der Abbildung umfangreicher Prozessketten mit Hilfe von Unit-Prozessen sind zudem Grenzen in der Handhabbarkeit gesetzt, da sie den Berechnungsaufwand des Modells sehr ansteigen lässt.

Um Konsistenz mit dem Strommix der Leitstudie zu erreichen, der den meisten MaRess-Szenarien zu Grunde liegt, wurden die in ecoinvent modellierten Kraftwerkstypen teilweise durch weitere ergänzt. Die in der Leitstudie genannten Technologien sowie ihre Äquivalente im Stoffstromnetz sind in Tab. 3-3 aufgelistet.

Bezüglich der Datengrundlage des Stoffstrommodells kann festgehalten werden, dass auf Grund fehlender Prozessdaten teilweise vereinfachende Annahmen getroffen werden mussten. Dies gilt etwa im Bereich der Stomerzeugung für erdgas- und ölbefeuerte Heizkraftwerke, die mangels umfassender HKW (Heizkraftwerk)-Ökobilanzmodule zusammengefasst und als Erdgas-BHKW (Blockheizkraftwerk) modelliert wurden. Hier gilt es, in zukünftigen Untersuchungen vorhandene Ökobilanz-Datenbestände zu aktualisieren und zu ergänzen. Sofern verwendete Prozessbeschreibungen nicht aus der ecoinvent Datenbank oder einer kompatiblen Quelle stammen, ergeben sich zudem Datenlücken, die auf einer sehr begrenzten Auswahl bilanzierter Materialflüsse oder auf Inkompatibilitäten mit der in ecoinvent verwendeten Nomenklatur beruhen. Davon betroffen sind insbesondere die Modellierung von regenerativer Nahwärme, konventioneller Fernwärme und Geothermie-Kraftwerken. Hinsichtlich der Datenqualität und -vollständigkeit der verwendeten ecoinvent-Prozesse gelten zudem die in den jeweiligen ecoinvent-Reports beschriebenen Einschränkungen.

Tab. 3-3: Kraftwerkstypen in der *Leitstudie 2008* und ihre Äquivalenzprozesse im Stoffstrommodell

Kraftwerkstypen der Leitstudie 2008	Durch äquiv. Prozess dargestellt zu...	Äquivalenzprozesse im Stoffstrommodell	Quelle
Europ. Verbund EE	75%	Strom, Parabelspiegel, ab Kraftwerk, DNI2000, mit Speicher	NEEDS-Datenbank (NEEDS 2009)
Europ. Verbund EE	25%	Strom, ab Windkraftanlage 2MW, Offshore [OCE]	ecoinvent 2.0
Photovoltaik	100%	Strommix, Photovoltaik, ab Anlage [DE]	ecoinvent 2.0
Geothermie	100%	Strom, ab Geothermiekraftwerk Hot Dry Rock	DLR et al. (2004:113)
Wind Offshore	100%	Strom, ab Windkraftanlage 2MW, Offshore [OCE]	ecoinvent 2.0
Wind an Land	100%	Strom, ab Windkraftanlage [RER]	ecoinvent 2.0
Laufwasser	100%	Strom, Wasserkraft, ab Kraftwerk [DE]	ecoinvent 2.0
Biomasse, biogen. Abfälle	100%	Strom, ab BHKW mit Gasmotor, Biogas, Allokation Exergie [CH]	ecoinvent 2.0
KWK, Kohle, Gas	100%	Strom, ab BHKW 1MWel Mager, Allokation Exergie [RER]	ecoinvent 2.0
Erdgas, Öl Kond.	100%	Strom, ab Erdgas-Kraftwerk [DE]	ecoinvent 2.0
Braunkohle Kond.	100%	Strom, ab Braunkohlekraftwerk [DE]	ecoinvent 2.0
Steinkohle Kond.	100%	Strom, ab Steinkohlekraftwerk [DE]	ecoinvent 2.0
Kernenergie	100%	Strom, ab Kernkraftwerk [DE]	ecoinvent 2.0

EE = Erneuerbare Energien; KWK = Kraft-Wärme-Kopplung

Quelle: Eigene Zusammenstellung aufbauend auf BMU 2008

Nach der Abbildung aller zu berücksichtigenden Prozesse im Stoffstromnetz erfolgt die Berechnung der Ökobilanz für die jeweiligen Referenzflüsse. Ergebnis dieser Berechnung ist die Sachbilanz. Sie stellt eine Auflistung aller Energie- und Materialströme dar, die die Grenzen des Untersuchungssystems input- oder outputseitig (als Rohstoff, Produkt, Abfall oder Emission) passieren.

### 3.3 Wirkungsabschätzung

Die Einzelwerte einer Sachbilanz sagen wenig über die Umweltwirkung eines Systems aus, denn die Flussgrößen verschiedener Materialien können sich in verschiedener Weise und Größenordnung auf mehrere Umweltmedien auswirken. Die Wirkungsabschätzung (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) soll potenzielle Umweltwirkungen kenntlich und vergleichbar machen, indem sie die Sachbilanzergebnisse mit Umweltwirkungskategorien verknüpft.

Hierzu sind gemäß (DIN 2006a:46 ff) drei Schritte erforderlich:

1. *Methodenauswahl*: Aus dem umfassenden Angebot unterschiedlicher LCIA-Methoden muss eine Auswahl getroffen werden, die in Hinblick auf das Untersu-



chungsziel geeignete Wirkungskategorien und Indikatoren zur Verfügung stellt, mit deren Hilfe relevante Umweltwirkungen quantifiziert werden können. Sind etwa Treibhausgasemissionen Untersuchungsschwerpunkt, so wird eine Kategorie „Klimawirkung“ benötigt.

2. *Klassifizierung*: Alle Stoffströme werden dann verschiedenen Wirkungskategorien der gewählten Methode zugeordnet, wobei Mehrfachzuordnungen möglich sind. Zum Beispiel werden Klassen von Stoffströmen gebildet, die einen Beitrag zu Klimawandel (etwa CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O), Ozonabbau, Eutrophierung oder Schädigung von Ökosystemen leisten.
3. *Charakterisierung*: Die Stoffströme einer Kategorie werden dann entsprechend ihres spezifischen Beitrages zur identifizierten Umweltwirkung in Äquivalente einer Referenzsubstanz umgerechnet und zusammengefasst. Hierdurch wird z. B. berücksichtigt, dass CH<sub>4</sub> und insbesondere N<sub>2</sub>O deutlich stärker zum Klimawandel beitragen als CO<sub>2</sub>. Das Resultat der Berechnung ist ein numerischer Wert für jeden Indikator – z. B. das Erderwärmungspotenzial (Global Warming Potential, GWP) in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Weitere optionale Bestandteile wurden im Rahmen der hier durchgeführten Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

Die beschriebenen Schritte können durch die Auswahl und Verwendung eines bestehenden Wirkungsabschätzungssystems abgedeckt werden. Zur Anwendung kommt hier im Hinblick auf das Untersuchungsziel die im „Handbook on Life Cycle Assessment“ beschriebene CML-Methode (siehe Guinée et al. 2002:63ff). Die Methode umfasst die Bereitstellung von Umweltwirkungsindikatoren, ordnet alle Materialflüsse den jeweiligen Indikatoren zu und führt anschließend Charakterisierungen innerhalb jeder Klasse von Materialflüssen durch. Sie verfügt über eine breite internationale Anwenderschaft und zeichnet sich dadurch aus, dass sie eine Vielzahl unterschiedlicher Beeinflussungen verschiedener Umweltmedien abdeckt. Sie ist zudem Bestandteil der ecoinvent Datenbank und deshalb auch mit der Nomenklatur der dort verwendeten Materialbezeichnungen kompatibel. Das Abschätzungssystem kann daher ohne Anpassungsbedarf direkt auf die berechneten Sachbilanzen angewendet werden. Die CML-Methode dient zur Bestimmung der folgenden Wirkungsindikatoren (Guinée et al. 2002:63 ff):

### Emissionsindikatoren

- *Überdüngungspotenzial [EP in kg PO<sub>4</sub>-Äq.]*: Eutrophierende Wirkungen entstehen durch ein überhöhtes Niveau von Makronährstoffen in der Umwelt, wobei Stickstoff (N) und Phosphor (P) von besonderer Bedeutung sind. Nährstoff-Anreicherungen können unerwünschte Veränderungen in der Zusammensetzung der Arten und erhöhte Biomasseproduktion in aquatischen und terrestrischen Ökosystemen verursachen. Hohe Nährstoffkonzentrationen können zudem Trinkwasser-Vorräte verunreinigen. Erfasste überdüngende Emissionen werden über Charakterisierungsfaktoren gemäß ihrer Wirkintensität in kg Phosphat-Äquivalente umgerechnet.

- *Versauerungspotenzial [AP in kg SO<sub>2</sub>-Äq.]*: Versauernde Emissionen wirken in vielfältiger Weise auf Boden, Grund- und Oberflächenwasser, biologische Organismen, Ökosysteme und Bauwerke. Wirkungsbeispiele sind etwa Fischsterben, Verschlechterung des Waldzustands oder Gesteinszerstörung an Gebäuden. Bedeutende versauernde Emissionen sind SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und NH<sub>x</sub>. Erfasste versauernde Emissionen in die Luft werden über Charakterisierungsfaktoren gemäß ihrer Wirkintensität in kg Schwefeldioxid-Äquivalente umgerechnet.
- *Stratosphärischer Ozonabbau [ODP in kg CFC-11-Äq.]*: Stratosphärischer Ozonabbau bezieht sich auf die Abnahme der stratosphärischen Ozonschicht als Folge anthropogener Emissionen. Dies verursacht einen erhöhten UV-B-Strahlungsanteil an der Erdoberfläche mit potenziell negativem Einfluss auf die Gesundheit von Menschen und Tieren, terrestrische und aquatische Ökosysteme, biochemische Kreisläufe und Materialien. Erfasste ozonabbauende Emissionen in die Luft werden über Charakterisierungsfaktoren gemäß ihrer Wirkintensität in kg-Äquivalente des FCKW Trichlorfluormethan (CFC-11) umgerechnet.
- *Sedimentäre Süßwasser-Ökotoxizität [FSETP in kg 1,4-DCB-Äq.]*: Der Indikator bezieht sich auf die Wirkung toxischer Substanzen auf das Sediment von Süßwasser-Ökosystemen. Erfasste toxische Emissionen in Luft, Wasser und Boden werden über Charakterisierungsfaktoren gemäß ihrer Wirkintensität in kg 1,4-Dichlorbenzol-Äquivalente umgerechnet.
- *Sedimentäre Seewasser-Ökotoxizität [MSETP in kg 1,4-DCB-Äq.]*: Der Indikator bezieht sich auf die Wirkung toxischer Substanzen auf das Sediment von Seewasser-Ökosystemen.
- *Aquatische Süßwasser-Ökotoxizität [FAETP in kg 1,4-DCB-Äq.]*: Der Indikator bezieht sich auf die Wirkung toxischer Substanzen auf aquatische Süßwasser-Ökosysteme.
- *Aquatische Seewasser-Ökotoxizität [MAETP in kg 1,4-DCB-Äq.]*: Der Indikator bezieht sich auf die Wirkung toxischer Substanzen auf aquatische Seewasser-Ökosysteme.
- *Boden-Ökotoxizität [TETP in kg 1,4-DCB-Äq.]*: Der Indikator bezieht sich auf die Wirkung toxischer Substanzen auf terrestrische Ökosysteme.
- *Photochemische Oxidation (Sommersmog) [POCP in kg Ethylen-Äq.]*: Photooxidantien, die wie Ozon unter Einfluss von Sonnenlicht auf bestimmte Luftschadstoffe entstehen, sind reaktive chemische Verbindungen. Ihre Bildung in der Troposphäre kann durch photochemische Oxidation von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) und Kohlenmonoxid (CO) in der Gegenwart von Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) erfolgen. Sie können die menschliche Gesundheit und Ökosysteme gefährden und Feldfrüchte beschädigen. Erfasste Emissionen von VOC und CO in die Luft werden über Charakterisierungsfaktoren gemäß ihrer Wirkintensität in kg Ethylen-Äquivalente umgerechnet.

- *Klimawandel [GWP in kg CO<sub>2</sub>-Äq.]*: Klimawandel wird hier definiert als die Auswirkungen anthropogener Emissionen (insbesondere CO<sub>2</sub>, aber zum Beispiel auch CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O) auf den Strahlungshaushalt der Atmosphäre. Dessen Beeinflussung hat wiederum nachteilige Effekte unter Anderem auf den Zustand von Ökosystemen, die menschliche Gesundheit und den materiellen Wohlstand. Klimawirksame Emissionen verstärken den Strahlungsantrieb und führen so zu einem Anstieg der Oberflächentemperaturen auf der Erde. Erfasste klimawirksame Emissionen in die Luft werden über Charakterisierungsfaktoren gemäß ihrer Wirkintensität in kg Kohlendioxid-Äquivalente umgerechnet.
- *Ionisierende Strahlung [DALY in Jahren]*: Der Indikator umfasst Auswirkungen der Freisetzung radioaktiver Substanzen sowie direkter Strahlenexposition, etwa durch Radionuklide in Baumaterialien. Als Maß für die gesundheitlichen Auswirkungen der Strahlung kommt das Konzept der „Disability Adjusted Life Years“ (DALY) zur Anwendung, das Sterblichkeit und Beeinträchtigung des beschwerdefreien Lebens als Folge radioaktiver Strahlung beschreibt. Erfasste Verursacher ionisierender Strahlung werden auf dieses Maß gemäß ihrer Wirkintensität (gemessen in Becquerel/kg) umgerechnet.
- *Humantoxizitätspotenzial [HTP in kg 1,4-DCB-Äq.]*: Diese Wirkungskategorie umfasst die Auswirkungen toxischer Substanzen, die in der Umwelt nachweisbar sind, auf die menschliche Gesundheit.
- *Geruch [in m<sup>3</sup> Luft]*: Gerüche werden aus Sicht des Schutzbereichs der menschlichen Gesundheit dann problematisch, wenn eine vorliegende Konzentration eines Geruchsstoffes als unangenehm empfunden wird. Da diese Wahrnehmung individuell sehr unterschiedlich sein kann, werden an Hand des Odour Threshold Value (OTV) in kg/m<sup>3</sup> Konzentrationen definiert, ab denen Geruchsentwicklungen von allen Individuen als Belästigung empfunden werden. Emissionen von Geruchsstoffen in kg werden zur Charakterisierung mit dem Reziprok ihres OTV multipliziert, um das bis zum OTV belastete Luftvolumen in m<sup>3</sup> zu ermitteln.

### Ressourcenindikatoren

- *Erschöpfung abiotischer Ressourcen [ADP in kg Antimon-Äq.]*: Abiotische Ressourcen sind natürliche Ressourcen der unbelebten Natur (inklusive Energie-Ressourcen) wie Eisenerz, Rohöl und Windenergie. Der Indikator erfasst die Extraktion von mineralischen Rohstoffen und fossilen Energieträgern. Auf Grundlage ihres Verhältnisses zwischen jährlicher Extraktion und Ressourcenpotenzial („Ultimate Reserves“) wird ihr Erschöpfungspotenzial ermittelt, und im Rahmen der Charakterisierung auf die Referenzressource Antimon umgerechnet. Der aggregierte Indikatorwert wird dann in kg Antimon-Äquivalenten angegeben.
- *Landverbrauch [in m<sup>2</sup>\*Jahr]*: Der Indikator beschreibt den Verlust von Fläche als Ressource im Sinne eines temporären Ausschlusses konkurrierender Nutzungen. Er bezieht Flächenressourcen im Sinne von natürlichen Ressourcen und mensch-

gemachter Umwelt ein. Eine Charakterisierung findet nicht statt – alle Landnutzungstypen werden ungewichtet aggregiert.

Zu beachten ist, dass die wissenschaftliche Diskussion insbesondere um Indikatoren mit Bezug auf die Erschöpfung von Ressourcen und die Wirkungen toxischer Substanzen nicht abgeschlossen ist. Die der CML-Methode zu Grunde liegenden Bewertungsmodelle stellen deshalb nur eine von unterschiedlichen Möglichkeiten der Bewertung dieser Wirkungskategorien dar.

### **Ressourcenindikator von Ökobilanzen versus „Ökologischer Rucksack“**

Die Auflistung der Indikatoren, die im Rahmen des gewählten LCIA-Systems berücksichtigt werden, zeigt die für Ökobilanz-Untersuchungen typische Fokussierung auf Mid-Points der Ursache-Wirkungs-Kette, also auf die Erfassung und Bewertung von Emissionen. Ressourcen-Bewertungen sind dagegen hier und im Rahmen anderer LCIA-Methoden nur von geringer Bedeutung. Einzige Ausnahme stellen hier die beiden Indikatoren „Erschöpfung abiotischer Ressourcen“ und „Landverbrauch“ dar, die Hinweise auf die Belastung von Energie-, Material- und Flächenressourcen durch das Produktsystem liefern, aber keine Aussage zum Ressourcenrucksack des Untersuchungsgegenstandes treffen. Dieser wird als Gesamtumfang abiotischer und biotischer Ressourcenentnahme dagegen beispielsweise durch die Indikatoren TMR (Total Material Requirement) auf volkswirtschaftlicher und MIPS (Material Input Per Service Unit) auf Produktebene ausgedrückt, die aber bisher in der Standardsoftware für die Ökobilanzierung nicht ausreichend verankert sind.

Dennoch stellt die im Rahmen der hier durchgeführten Ökobilanz erstellte Sachbilanz grundsätzlich eine geeignete Grundlage zur Durchführung von MIPS-Analysen dar: Ecoinvent-Prozesse und damit auch die aus ihrer Verwendung resultierenden Sachbilanzen weisen 284 Elementarflüsse der Kategorie „Ressource“ aus. Hierbei handelt es sich jeweils zur Hälfte um Angaben zu Landnutzungen und Landnutzungsänderungen einerseits und um materielle Ressourcenströme andererseits, wobei letztere als Grundlage zur Berechnung der Materialintensität nach dem MIPS-Konzept in Frage kommen. Die Beschreibung der Nomenklatur dieser Ressourcenströme in ecoinvent macht jedoch deutlich, dass insbesondere indirekte Materialinputs nur unvollständig berücksichtigt werden (vergleiche Tab. 3-4).

So beschreiben in der Sachbilanz ausgewiesenen Elementarflüsse von Metallen die Fördermengen des direkt genutzten Rohstoffes. Über die Materialbezeichnung lässt sich hieraus der Materialaufwand auf die geförderte Roherzmenge umrechnen. So wird für das Material „Aluminium, 24% in Bauxite, 11% in crude ore, in ground“ ein Aluminiumgehalt des Erzes von 11% angenommen, woraus sich je kg Fördermenge 9,1 kg Roherz ergeben. Zu weiteren Bestandteilen des in MIPS ausgewiesenen abiotischen Ressourcenverbrauchs, insbesondere zu Abschätzungen der jeweiligen Abraummenngen der Rohstoffförderung, trifft ecoinvent dagegen keine Aussagen. Für die Förderung mineralischer Rohstoffe gilt dies in vergleichbarer Form.

Um auch indirekte Materialinputs eines mit Prozessdaten der ecoinvent-Datenbank beschriebenen Systems zu erfassen, ist es demnach erforderlich, für etwa 140 Ressourcenströme der ecoinvent-Datenbank (insbesondere Metalle und Mineralien) Dokumentationen der Entnahmeprozesse zu recherchieren und zu einem Wirkungsabschätzungssystem zusammenzufassen. Hinzu kommt, dass für vergesellschaftete Rohstoffe (Rohstoffe, die in Koppelproduktion gewonnen werden) Allokationsfragen geklärt werden müssen und MIPS-Werte teilweise sehr von der Beschaffenheit der betrachteten Vorkommen (zum Beispiel Ganglagerstätte oder Seifen) abhängen können.

Tab. 3-4: Erläuterung der Nomenklatur von elementaren Ressourcenströmen in ecoinvent

Amount	Elementary Flow	Meaning of the flow
1 kg	Magnesite, 60% in crude ore, in ground	Extraction of 1 kg magnesite ( $\text{MgCO}_3$ or 266 g magnesium) in 1.67 kg crude ore.
1 kg	Aluminium, 24% in Bauxite, 11% in crude ore, in ground	Extraction of 1 kg aluminium in 4.17 kg bauxite, in 9.1 kg crude ore.
1 kg	Nickel, 1.13% in sulfide, Ni 0.76% and Cu 0.76% in crude ore, in ground	Extraction of Nickel from a Nickel-Copper mine with a Nickel (and Copper) content of 0.76% (each) in the crude ore.

Quelle: ecoinvent Centre (2007:28)

Es sei daher ausdrücklich auf die Notwendigkeit hingewiesen, einen geeigneten Materialverbrauchs-Indikator für die Anwendung auf Ökobilanz-Datenbestände zu entwickeln, um sowohl ressourcen- als auch emissionsbezogene Aspekte der Umweltverträglichkeit eines Systems in einer integrierten Analyse mit Hilfe von LCA-Standardsoftware ausreichend zu berücksichtigen. Ansätze hierfür finden sich in Giegrich et al. (2006).

### 3.4 Auswertung

Eine ausführliche Auswertung der Ökobilanz-Untersuchung erfolgt in Kapitel 7.2. Sie beinhaltet die Darstellung relativer und absoluter Entwicklungen der berechneten Indikatoren des Wirkungsabschätzungssystems CML 2001 für alle im Rahmen dieser Untersuchung berücksichtigten Szenarien. Zusätzlich zu dem Ressourcenindikator der Ökobilanz wird in Kapitel 7.3 schließlich beispielhaft der Trade-off mit Hilfe von MIPS-Indikatoren bestimmt.

### 3.5 Kopplung von Umberto mit HEAT und exogenen Parameter-Tabellen

Im Stoffstrommodell wird eine Vielzahl an perioden- und szenariospezifischen Parametern berücksichtigt, die zunächst mit möglichst geringem manuellen Aufwand für jede Periode in das Modell übertragen werden müssen. Die technische Umsetzung dieses Datentransfers wird im Folgenden beschrieben. Umberto unterstützt die Microsoft-COM-Schnittstelle, welche den skriptgesteuerten Zugriff auf die Software und den Datenaustausch mit anderen Programmen ermöglicht. Zur Einspeisung in HEAT generierter oder exogen definierter Eingangsgrößen wird ein Python-Skript verwendet, welches

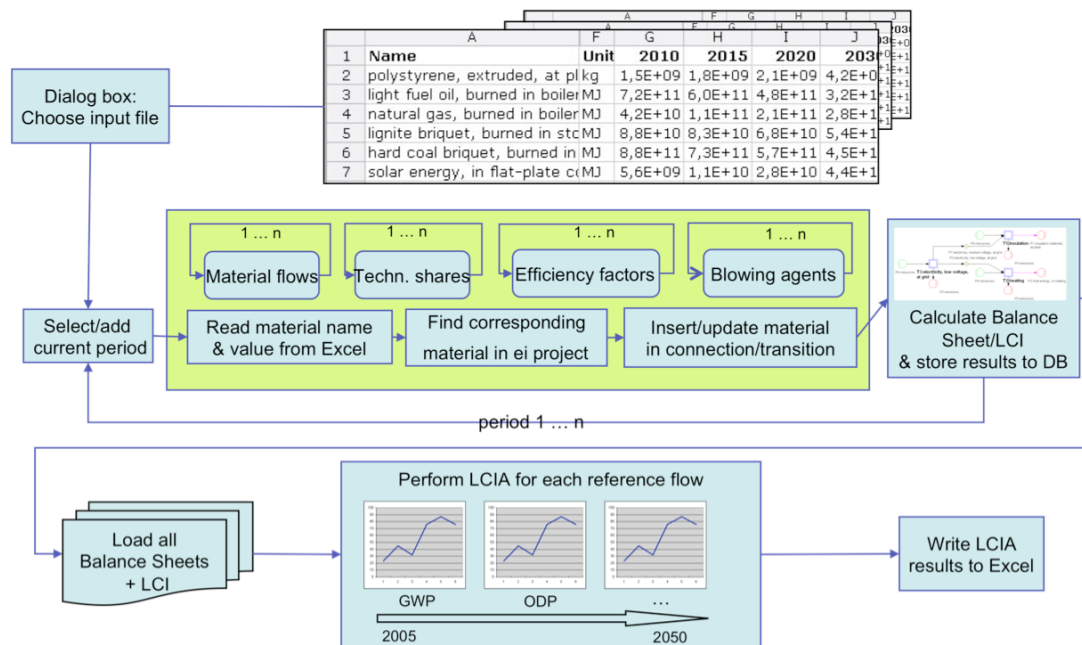
über die in der Umberto-COM-Dokumentation beschriebenen Interfaces, Methoden und Parameter den Zugriff auf alle Programmfunktionen ermöglicht.

Der Programmablauf wird zur Bilanzberechnung vom Python-Skript nach dem in Abb. 3-4 beschriebenen Schema gesteuert: Als Datenquellen dienen Datenblätter einer Excel-Datei je Szenario, in denen alle für die Bilanzberechnung in Umberto benötigten (periodenabhängigen) Eingangsgrößen in Zehnjahres-Schritten bis 2050 nach bestimmten Strukturvorgaben angeordnet sind. Durch den Anwender wird die Modellberechnung durch Auswahl der entsprechenden Quelldatei über ein Dialogfeld angestoßen. Die Daten werden dann periodenweise aus der Tabelle ausgelesen und zur weiteren Verarbeitung an Umberto übergeben. Alle Eingangsdaten für eine Periode werden nach einem im Skript festgelegten Schema im Modell als manuelle Flüsse (zum Beispiel Menge des Dämmstoffs XPS) oder innerhalb von Prozessbeschreibungen als Koeffizienten (zum Beispiel Wirkungsgrad der Kohlekraftwerke) festgelegt, bevor die Bilanzberechnung für die aktuelle Periode angestoßen wird und ihre Ergebnisse in der Datenbank gespeichert werden. Dieser Vorgang wird anschließend automatisch für alle weiteren Perioden wiederholt, bis mit Periode n das Ende der Tabelle erreicht wird. Der Fortschritt von Datentransfer und Berechnungen wird während der Ausführung des Skripts in einem Protokoll ausgegeben und kann so mitverfolgt werden.

Die auf diesem Weg erzeugten Sachbilanzen können anschließend aus der Datenbank geladen und (für alle Perioden gleichzeitig) einer Wirkungsabschätzung unterzogen werden, um Indikatorwerte für alle Zeitschritte zu erhalten und hieraus (je nach Erkenntnisinteresse) Ergebnisdiagramme für die zeitliche Entwicklung verschiedener Wirkungsindikatoren generieren zu können.



Abb. 3-4: Schematische Darstellung der Kopplung des Stoffstrommodells mit HEAT und exogenen Parametern



Quelle: Eigene Darstellung

## 4 Definition der MaRes-Szenarien (Modul 3)

### 4.1 Ausgangspunkt Policymix

#### Grundidee der geplanten Modellierung

Ursprüngliches Ziel der Szenarien-Modellierung war es, auf einem von den AP3, 4 und 12 identifizierten Policymix aufzusetzen und insbesondere ressourcenpolitische Maßnahmen in die Szenarien zu integrieren oder gezielt eigene Ressourcenszenarien zu entwickeln. Als methodische Grundlage stand dafür die aus der Energiemodellierung bewährte Vorgehensweise der Szenarienerstellung zur Verfügung. Deren zentrale Elemente sind

- *Zielorientierung*: Definieren eines Langfristziels, das sich aus einem oder mehreren Zielgrößen zusammen setzt – prominente Beispiele sind die seit Jahren erstellten Energieszenarien, die beispielsweise in der Variante E1 des Leitszenarios 2008 (BMU 2008) das Ziel einer 80-prozentigen Reduktion der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2050 betrachten;
- *Szenarienfächer*: Entwickeln einer Schar von Langfrist-Szenarien, die Entwicklungspfade zum Erreichen der gesetzten Zielgrößen aufspannen oder zeigen, wie und in welchem Ausmaß die Ziele verfehlt werden. Solche Szenarien spannen meist einen Fächer zwischen niedriger Eingriffstiefe (business-as-usual Pfad) und hoher Eingriffstiefe (mit Auswirkungen bis hin zum Systemwechsel) auf.

Zur Entwicklung von Politikinstrumenten fanden mehrere Abstimmungsgespräche und gemeinsame Workshops zwischen den Modellierungs-Arbeitspaketen 5 (Quantitative und qualitative Analyse der ökonomischen Effekte einer forcierten Ressourceneffizienzstrategie) und 6 sowie den Politik-AP3, 4 und 12 statt (Abstimmungsworkshop mit AP1/3/4/5/12 am 12.03.2009; Nachfolge-Treffen mit AP3/5 am 17.08.2009 und mit AP4/5/12 am 01.09.2009). Dabei wurde diskutiert, wie die von den AP3, 4 und 12 entwickelte Instrumente, die im Folgenden dargestellt werden, in AS6.2 genutzt werden könnten.

**Arbeitspaket 3** (Innovative Ressourcenpolitikansätze zur Gestaltung der Rahmenbedingungen)

Tab. 4-1 zeigt eine Übersicht der in AP3 entwickelten Instrumentenbündel sowie ihre Relevanz für die Stoffstrom-Modellierung.



Tab. 4-1: Instrumente aus AP3 und ihre Relevanz für AS6.2

Instrumentenbündel	Instrumente	Relevanz für AS6.2
Moderne Regulierung und hybride Governance	Smart Regulation: Dynamische Standards + technology Forcing	Nicht relevant
	Hybride Ansätze (Ordnungsrecht + Selbstregulierung)	
Sektorale Ansätze	Vereinbarung Materialeffizienz/Recycling (Recyclingquote für den Metallsektor)	Nicht relevant, da in AS6.2 nur Dämmmaterialien modelliert; indirekte Relevanz für Vorketten der Energieerzeugung, die hier jedoch nicht angepasst werden konnten; zudem fehlen quantifizierbare Werte bis 2050
Ökonomisch-fiskalische Anreize	Differenzierte Mehrwertsteuer	Nicht relevant
	Baustoffbesteuerung	Nur Primärbaustoffe (Sand, Schlacken usw.) betrachtet; hier jedoch Fokus auf Dämmmaterialien benötigt
Innovationspolitische Instrumente	Umweltinnovationsnetzwerke	Nicht relevant
	Venture Capital	
	Leuchtturmprojekte	
Exportförderung	Capacity Building, Networking, Informationen über Zielmärkte	Nicht relevant
	Finanzierung und Risikoabsicherung, Vertriebsunterstützung	

Quelle: Eigene Darstellung aufbauend auf Tabelle ohne Nummer aus Paper 3.1 (Bleischwitz et al. 2009:26)

Im Ergebnis kann keines der Instrumente aus AP3 für die Modellierung in AS6.2 genutzt werden. Das einzige Instrument, das (indirekt) relevant wäre, wäre die Baustoffsteuer. Sie könnte beispielsweise bewirken, dass zunehmend mehr Sekundärmaterialien verwendet würden. Im Rahmen der Modellierung in AS6.2 wäre dies für die Dämmmaterialien relevant. Da die Baustoffsteuer jedoch nur für Primärbaustoffe betrachtet wurde, kommt sie für AS6.2 nicht zum Tragen.

#### Arbeitspaket 4 (Innovative Ressourcenpolitikansätze auf Mikroebene)

Tab. 4-2 zeigt eine Übersicht der in AP4 entwickelten Instrumentenbündel sowie ihre Relevanz für die Stoffstrom-Modellierung.

Tab. 4-2: Instrumentenbündel aus AP4 und ihre Relevanz für AS6.2

Bereich	Instrumentenbündel	Relevanz für AS6.2
Public Efficiency Awareness & Performance	Beratungs- und Netzwerkförderung	Nicht relevant
	Wettbewerbe und Preise	
	Akteursvernetzung	
	Kundenintegrierte Kooperation	
	Betriebliche Informationssysteme	
	Benchmarking / Best beziehungsweise Good Practices	

	Nichtregierungsorganisation	
	Einrichtungen der externen Qualitätsprüfung	
	Standards	
	Bildung Fachkräfte und spezieller Akteure	
	Berufliche Bildungsförderung	
	Corporate Social Responsibility / Corporate Citizenship	
	Extern evaluierte und zertifizierte Managementsysteme	
	Kontakt- und Gesprächsarenen	
	Leitfäden für das Unternehmensgeschehen	
	Beratung / Coaching	
	Themenspezifische Kommunikation	
	Bildung Führungskräfte / Management	
Finanzwirtschaftliche Instrumente	Reporting von ressourcenbezogenen Informationen durch Unternehmen	Nicht relevant
	Finanzielle Anreizinstrumente	
	Regulierung des Risikomanagements von Finanzdienstleistern	
	Institutionsbezogene Berichtspflichten	
	Qualifikation von Finanzexperten	
	Institutionelle Verknüpfung Finanzsektors mit Nachhaltigkeitsforschung	
	Retail-Finanzprodukte	
Innovations- und Markteinführungsinstrumente	Raumordnung, Bauleitplanung	Nicht relevant
	Innovationsförderung, FuE-Förderung	
	Investitions-, Export-, Anreizförderung	
	Ranking	
	Wettbewerbe für Markteinführung	
	Zielsetzung auf diversen räumlichen Ebene	
	Innovationsindex Ressourceneffizienz	
	Leitfäden, Berechnungshilfen, Agenda-Setting	
	Innovationswerkstätten (Laborhäuser, Projekthäuser)	
	Erfindermessen / -preise, Kundenintegration	
	Nachfragebündelung, Road-Mapping	
	Innovation Agents, neue Geschäftsmodelle	
	Förderprogramme, Foresight-Prozesse, Innovationsradar, Technologieradar / Plattformen	
	Pilotprojekte	
	Demonstrationsvorhaben, Product Panels	

Quelle: Eigene Darstellung aufbauend auf Übersicht Instrumentenbündel aus AP4 (Görlach et al. 2009)

Im Ergebnis kann keines der Instrumente aus AP4 für die Modellierung in AS6.2 genutzt werden.

## Arbeitspaket 12 (Konsumenten- und kundennahe Ansätze zur Ressourceneffizienzsteigerung)

Tab. 4-3 zeigt eine Übersicht der in AP12 entwickelten Instrumente sowie ihre Relevanz für die Stoffstrom-Modellierung (angegeben sind nur diejenigen Instrumente, die in AP12 für eine Feinanalyse ausgewählt wurden).

Tab. 4-3: Instrumente aus AP12 und ihre Relevanz für AS6.2

Ressourcenpolitik-Option	Relevanz für AS6.2
Profilierung des Blauen Engels im Bereich des Ressourcenschutzes	Nicht relevant
Ressourceneffizienz-Beratung für sozial-benachteiligte Haushalte	Nicht relevant
Internet-/Web 2.0-basierte Verbraucherberatung zu Ressourceneffizienz	Nicht relevant
Ressourcenausweis für Gebäude	Relevant, allerdings Datenlage sehr dürrig oder spekulativ; Ressourceneinsparpotenziale und -umsetzungspotenziale nur für den Zeitraum 2020-2029 spezifiziert (20%/7% im Gebäudebestand); fraglich, ob auf Dämmmaterialien anwendbar

Quelle: Eigene Darstellung aufbauend auf Übersicht Instrumentenbündel aus AP12 (Scholl et al. 2009a,b)

Aufgrund der großen Unsicherheit hinsichtlich der anzusetzenden Werte wurde der Ressourcenausweis für Gebäude (das einzige eventuell in Frage kommende Instrument) in AS6.2 nicht weiter betrachtet.

Zusammenfassend kann keiner der von den Politik-AP identifizierten Ressourcenpolitik-Ansätze direkt auf den hier modellierten Bereich der Sanierung von Wohngebäuden angewendet werden. Es wurde deutlich, dass hinsichtlich der Verbindung der Szenarientwicklung und der Stoffstrommodellierung mit der Konkretisierung von wohnraum-spezifischen Instrumenten weiterer Forschungsbedarf besteht.

Aber selbst wenn quantifizierbare Instrumente vorlägen, bestände aus technischer Sicht die Herausforderung, sie in Stoffstrommodellen modellieren zu können: Bestehende Ressourcenindikatoren wie TMR oder MIPS können derzeit nicht in Stoffstrommodellen mit anschließender Umweltwirkungsanalyse verwendet werden, da es im Bereich der softwaregestützten Ökobilanzierung an der notwendigen Harmonisierung mangelt (siehe Kapitel 3.3). Die Integration von Ressourcenindikatoren in Ökobilanzen ergibt daher wie oben dargelegt einen weiteren wichtigen Forschungsansatz.

### Alternativ gewählter Modellierungsansatz

Aufgrund der Schwierigkeiten, konkrete Ressourcenziele und Instrumente zu deren Erreichbarkeit zu definieren, wurde der Rückgriff auf bestehende klimapolitische Ziele und Szenarien vorgenommen. In gängigen Szenarien aus diesem Sektor, wie etwa der Variante E1 des Leitszenarios 2008 (BMU 2008) wird in der Regel eine Begrenzung

der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland um 40% bis zum Jahr 2020 gegenüber 1990 und um 80% bis zum Jahr 2050 modelliert. Diese Ziele werden in neuen Szenarien oft noch verschärft und liegen z.B. im Innovationsszenario nach Öko-Institut und Prognos (2009) bei -91% bis 2050. Auch ohne Einbezug konkreter Ressourcenziele sind diese Szenarien dennoch von hoher Relevanz für die in MaRess verfolgten Ziele:

- Durch den Energiebedarf in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr wird eine große Menge endlicher energetischer Ressourcen (Primärenergie) verbraucht, so dass eine Betrachtung dieser Sektoren nicht nur aus klimapolitischen, sondern ebenso aus ressourcenpolitischen (und sicherheitspolitischen) Gründen äußerst relevant erscheint;
- bisher existieren keine Abschätzungen über mögliche Trade-offs zwischen Energieeinsparung und gesamtem Rohstoffverbrauch, so dass die Kopplung eines Gebäude-Energiemodells mit einem Stoffstrommodell die Möglichkeit gibt, dies erstmals gezielt zu analysieren.

Vor diesem Hintergrund werden im folgenden Kapitel die verwendeten und weiter entwickelten Energieszenarien beschrieben, die als Grundlage für entsprechende parallel entwickelte Szenarien im Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ (den MaRess-Szenarien) dienen.

## 4.2 Narrative Beschreibung der MaRess-Szenarien

Zur Erstellung der MaRess-Szenarien wird wie oben beschrieben auf bestehende Energieszenarien zurückgegriffen, die um spezifische Festlegungen hinsichtlich des Bedarfsfeldes „Warmer Wohnraum“ ergänzt werden. Als Grundlage wurde die *Leitstudie 2008* des Bundesumweltministeriums ausgewählt, da sie zum Zeitpunkt der Szenarienerstellung (Herbst 2009) die einzige offizielle Studie eines Bundesministeriums über die zukünftige Entwicklung des Energiesystems in Deutschland war<sup>1</sup>.

Basis der Leitstudie ist das zielorientierte *Leitszenario 2008*, das darlegt, wie die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 in Deutschland auf rund 20% des Werts von 1990 gesenkt werden können (BMU 2008). Neben dem Basisszenario enthält die *Leitstudie 2008* auch eine Szenariengruppe E („Effizienz“), die höhere Effizienz und einen stärkeren Ausbau der erneuerbaren Energien annimmt, ebenso wie eine Szenariengruppe D („Defizit“), die die Konsequenzen einer weniger erfolgreichen Effizienzpolitik abbildet.

Das *Leitszenario 2008* bildet die Zwischenziele der Bundesregierung für 2020 ab, die in Beschlüssen der Bundesregierung, einschlägigen Gesetzen und den Regelungen

---

<sup>1</sup> Inzwischen wurde die „Leitstudie 2009“ veröffentlicht, in der das zentrale „LEITSZENARIO“ fortgeschrieben wurde. Da die anderen Szenariengruppen nicht aktualisiert wurden, wurde für die MaRess-Szenarien die Version aus 2008 beibehalten. Die „Leitstudie 2010“ ist derzeit in Arbeit und könnte Basis für eine Fortschreibung der MaRess-Szenarien in einem Nachfolgeprojekt sein.

der EU-Kommission festgelegt wurden. Dies betrifft Festlegungen für die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die Steigerung der Energieproduktivität und den Beitrag der erneuerbaren Energien, die einen entsprechenden Strukturwandel in der Energieversorgung auslösen.

Zentrale Gestaltungselemente der verschiedenen Szenarien der *Leitstudie 2008* sind die aufeinander abgestimmten Teilstrategien „Substanzieller Ausbau erneuerbarer Energien“ sowie „deutlich erhöhte Nutzungseffizienz in allen Sektoren“ und „erhöhte Umwandlungseffizienz durch einen verstärkten Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung und den Ersatz von Altkraftwerken durch effizientere Kraftwerke (KWK)“. In allen Szenarien wird von einem Ausstieg aus der Kernkraftnutzung ausgegangen. Ein möglicher Einstieg in die serienmäßige Nutzung von Technologien zur Abtrennung und Lagerung von Kohlendioxid (CCS) wird nicht berücksichtigt.

Im Folgenden wird erläutert, wie die MaRess-Szenarien auf der *Leitstudie 2008* aufbauen (siehe auch Tab. 4-4). Die Annahmen, die speziell zur Modellierung des Bedarfsfeldes „Warmer Wohnraum“ getroffen werden, werden in Kapitel 5 dargestellt.

### **Szenario MaRess BAU**

Zur Darstellung, welche Beiträge das *Leitszenario 2008* für die Klimaschutz- und Ressourcenziele liefert, ist es sinnvoll, zunächst eine Referenzentwicklung zu modellieren. Da in der *Leitstudie 2008* zielorientierte Szenarien entwickelt wurden, denen keine solche Referenz-Entwicklung gegenübergestellt wurde, musste zunächst ein eigenes Business-As-Usual-Szenario (BAU) entwickelt werden. Hierfür wurde auf die Referenzszenarien der Energieprognose (IER et al. 2009) und der WWF-Studie „Modell Deutschland“ (Öko-Institut und prognos 2009) zurück gegriffen.

### **Szenario MaRess Leit-Minus**

Das Szenario *MaRess Leit-Minus* entspricht dem *Defizitszenario D1* der *Leitstudie 2008*. Dabei wird einerseits angenommen, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien wie geplant erfolgt, sich die erzeugte Menge an Strom und Wärme in absoluten Mengen gegenüber dem *Leitszenario 2008* also nicht verändert. Demgegenüber wird jedoch eine geringere Wirkung der Maßnahmenpakete zur Effizienzsteigerung und zum Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung angenommen. Dadurch erhöht sich die Energienachfrage, so dass der Anteil der erneuerbaren Energien relativ gesehen sinkt (in 2050 nur noch 36,7% Anteil am Primärenergieverbrauch gegenüber 52,1% im *Leitszenario*). Der Verbrauch der fossilen Energien sinkt in 2050 nur auf 6.535 PJ/a ab (*Leitszenario*: 4.223 PJ/a). Die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen können gegenüber 1990 bis 2020 nur um knapp 28%, bis 2050 nur um 61% (*Leitszenario*: minus 36% beziehungsweise minus 78%) reduziert werden.

### **Szenario MaRess Leit**

Das Szenario *MaRess Leit* entspricht dem *Leitszenario 2008*, das bereits oben beschrieben wurde.

### Szenario *MaRes Leit-Plus*

*MaRes Leit-Plus* unterscheidet sich von *MaRes Leit* dadurch, dass die Effizienzbestrebungen im Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ noch weiter *gesteigert* wurden, indem der Heizenergiebedarf weiter abgesenkt wurde. Die Zusammensetzung des Wärmemix wurde vereinfacht konstant gehalten, so dass sowohl fossile als auch erneuerbare Wärmeträger in absoluten Mengen sinken.

Tab. 4-4: Übersicht über die MaRes-Szenarien und ihre Annahmen zur Energieversorgung

MaRes-Szenario	Ursprung	Beschreibung / Analogien	Eingriffstiefe	CO <sub>2</sub> -Reduktion in 2050
<i>BAU</i>		Ermittelt aus Referenzszenarien der WWF-Studie „Modell Deutschland“ und der Energieprognose Primärenergie-Produktivität: plus 2%/a	Niedrig	Nur bis 2030 vorhanden
<i>Leit-Minus</i>	Szenario D1 aus der Leitstudie 2008 (verminderte Effizienz)	<i>Erneuerbare Energien</i> für Strom und Wärme gleiche Höhe wie in Leitszenario. Primärenergie-Verbrauch 2050: minus 29% Primärenergie-Produktivität: plus 2,5%/a Wärmenachfrage 2050: minus 24% Anteil REN Wärme-Endenergie 2050: 32% Anteil REN Strom-Endenergie 2050: 78% Anteil REN gesamte Endenergie 2050: 40%	Mittel	- 61,1%
<i>Leit</i>	Leitszenario 2008	Hohe Anforderungen an <i>Effizienz</i> und Einsatz <i>erneuerbarer Energien</i> : Primärenergie-Verbrauch 2050: minus 45% Primärenergie-Produktivität: plus 3%/a Wärmenachfrage 2050: minus 50% Anteil REN Wärme-Endenergie 2050: 48% Anteil REN Strom-Endenergie 2050: 87% Anteil REN gesamte Endenergie 2050: 52% Erdgasbedarf: ab 2020 deutlich sinkend	hoch	- 78,5%
<i>Leit-Plus</i>	Leitszenario 2008 mit erhöhter Effizienz im Wohnbereich	Der <i>Endenergieverbrauch der Wohnungen</i> aus dem Leitszenario 2008 wird weiter abgesenkt, um sehr hohe Effizienz abbilden zu können.	hoch	nicht gerechnet

Quelle: Eigene Zusammenstellung

### Übergreifende Annahmen

Die allen Szenarien zugrunde liegenden ökonomischen und sonstigen Basisdaten (zum Beispiel Entwicklung der Bevölkerung, der Haushaltsgrößen) wurden leicht angepasst. Insbesondere die ökonomischen Daten wurden aufgrund der Wirtschaftskrise nach unten korrigiert. Sowohl die Modellierung in *HEAT* als auch die Top-down Modellierung in AP5 basieren auf den gleichen angepassten Daten.

Die Energieszenarien selbst wurden jedoch nicht verändert, da dies einen nicht vertretbaren Aufwand bedeutet hätte. Für die Zwecke des AS6.2 hat dies jedoch auch keine Relevanz, da nicht die Modellierung von Energieszenarien im Vordergrund

stand, sondern mögliche Trade-offs zwischen Energieeinsparung und Ressourcenverbrauch analysiert werden sollten.

Aus den Energieszenarien wird für Modellierungszwecke in AS6.2 sowohl der jeweilige Wärmemix im Haushaltsbereich als auch der bundesweite, durchschnittliche Strommix verwendet (siehe Kapitel 5.2).



## 5 Einflussparameter des Modells (Modul 4)

### 5.1 Externe Parameter (szenarioübergreifende Eckdaten)

Unter den allgemeinen betrachteten, nichtenergetischen Treibergrößen sind Rahmenindikatoren zusammengefasst, die eine allgemeine wirtschaftliche oder gesellschaftliche Entwicklung widerspiegeln und für alle Szenarien gleich gelten, also nicht Bestandteil des quantitativen und qualitativen Untersuchungsgegenstandes sind. Sie dienen zur Verfestigung des Modellausschnitts im Kontext einer realen Abbildung. Zu ihnen gehören etwa die demographische Entwicklung und die damit einhergehende Wohnflächenentwicklung, die Entwicklung der Bauteilstandards selbst (da die Güte der jeweiligen Standards innerhalb der Szenarien nicht variiert werden, sondern nur deren Marktanteile) sowie die Wirkungen von flankierenden Maßnahmen auf die Sanierungsraten.

#### **Treibergröße: Entwicklung der Wärmedämm-Standards (U-Werte)**

Die Wärmedämm-Standards betreffen die Entwicklungen von Bauteilanforderungen an Neubauten sowie für die nachträgliche Bauteilsanierung von Gebäuden. Diese Treibergröße stellt die wichtigste Kerngröße der jeweiligen Szenarien dar, da sie Indikatoren für eine technische Entwicklung (Passivhaus) und der politischen Qualitäts-Standardisierung mittels Wärmeschutz- und Energieeinsparverordnungen sind. Durch sie lassen sich technologische Effizienzverbesserungen ablesen sowie die ökonomischen Auswirkungen ermitteln (Einsparkosten). In Tab. 5-1 sind die wichtigsten Wärmeschutzverordnungen und -standards dargelegt, die in den jeweiligen MaRess-Szenarien zum Einsatz gekommen sind<sup>2</sup>.

#### **Treibergröße: Bevölkerung und Wohnflächen**

*Bevölkerungsentwicklung:* Die Modellrechnungen des Statistischen Bundesamtes gehen von zwei Leitindikatoren für die Entwicklung der Bevölkerung bis zum Jahre 2050 aus: der *Lebenserwartung* (Niedrig/Mittel/Hoch) und dem *Wanderungssaldo* (Niedrig/Mittel/Hoch). Die jeweilige Entwicklung der demzufolge neun Varianten kann in Tab. 5-2 abgelesen werden.

Für die Szenarioberechnung wird von der mittleren, moderateren Entwicklung ausgegangen.

---

<sup>2</sup> Der Wärmedurchgangskoeffizient gibt im statischen Zustand eines geschlossenen Systems (also ohne äußere Einwirkung wie z. B. Wind) an, wie viel Wärme in einer bestimmten Zeit durch ein bestimmtes Volumen ( $1 \text{ m}^3$ , Würfel mit 1 m Kantenlänge) des Dämmstoffs bei einem bestimmten Temperaturgefälle (früher in K heute in U-Werten) durchdringt.



Tab. 5-1: U-Werte zur Einhaltung von Wärmeschutzverordnungen und -standards

Bauteile	(1)	(2)	EnEV 2009 Anforderungen im Bestand (BAU)	Niedrig- Energie-Haus (HT' -15%)	HT'' -80%	Passiv- Haus
<b>Wärmedämmung U-Werte (<math>W/m^2K</math>)</b>						
* Dach	0,22	0,2		$\leq 0,16$	0,14	0,1
* Außenwände	0,5	0,3	0,20;0,24	0,25	0,15	0,112
* Keller	0,5	0,35	0,28	0,29	0,12	0,12
* Fenster	1,8	1,4	0,35 1,3	$\leq 1,2$	< 1	< 0,7
<b>Spezifische Gesamt/Mehrkosten €/m<sup>2</sup></b>						
* Dach				31,89/10,05	36,55/14,71	45,64/23,80
* Außenwände				96,75/41,75	103,57/48,57	108,69/53,69
* Keller				29,86/11,71	33,00/14,85	51,85/33,70
* Fenster				434,50/101,50	456,25/123,23	478,00/145,00
(1) WSVO 1995 gültig bis 31.01.2002						
(2) EnEV2002 – 2007; Kostenangaben gegliedert nach Gesamtkosten/Mehrkosten						

Quelle: Lehmann und Stanetzkyf (2001); Ecofys (2007); EnEV-Novelle – Anlage I (2008); Wuppertal Institut (2008); Eigene Berechnungen

Tab. 5-2: Entwicklung der Bevölkerung Deutschlands bis 2050

Varianten		Stützjahre					
Lebens- erwartung	Wanderungs- Saldo	2001	2010	2020	2030	2040	2050
Niedrig	Niedrig	82,4	82	80	76,7	72,2	67,1
Niedrig	Mittel	82,4	82,9	82,2	80,3	77,3	73,6
Niedrig	Hoch	82,4	82,9	83,3	82,6	80,8	78,5
Mittel	Niedrig	82,4	82,2	80,6	77,6	73,4	68,5
<b>Mittel</b>	<b>Mittel</b>	<b>82,4</b>	<b>83,1</b>	<b>82,8</b>	<b>81,2</b>	<b>78,5</b>	<b>75,1</b>
Mittel	Hoch	82,4	83,1	82,8	81,2	78,5	75,1
Hoch	Niedrig	82,4	83,1	83,9	83,6	82,1	80
Hoch	Mittel	82,4	82,2	80,8	78	74,2	69,7
Hoch	Hoch	82,4	83,1	82,9	81,6	79,3	76,3
Alle Angaben in Mio.							

Quelle: Statistisches Bundesamt (2006)

*Entwicklung der Wohnflächen:* Die Entwicklung der Wohnfläche ist eine resultierende Größe, die aus der Entwicklung der Einkommensverhältnisse, sowie der daraus entstehenden Komfortansprüche entsteht.

Expertisen rechnen mit einer stetigen Steigerung der Wohnflächen von 7 - 10 m<sup>2</sup> pro Person und Dekade (empirica (2001), Bartholmai und Melzer (1993), Hake et al. (1999). Das heißt, der bislang erreichte, statistische Durchschnittswert von rund 40 m<sup>2</sup> wird sich bis zum Jahr 2050 fast verdoppeln. Bei Betrachtung der historischen Zahlenreihe 2002 – 2005 ist aber schon eine moderatere Entwicklung ersichtlich. Bei Annahme der mittleren Bevölkerungsentwicklung des Statistischen Bundesamtes gehen wir für die weiteren Szenarien von folgenden Bevölkerungsparametern aus (vergleiche Tab. 5-2 und Tab. 5-3).

Tab. 5-3: Entwicklungen der Wohnflächen pro Person

	1980	1990	2002	2005	2010	2020	2030	2040	2050
	Historische Werte				Szenarioannahmen				
m <sup>2</sup> /Kopf	32,6	36,4	40,1	42,9	45,6	50,8	55,9	60,8	63,6

Quelle: Statistisches Bundesamt (2006); eigene Modellrechnungen

Bei Berücksichtigung der Entwicklungen für den Neubau sowie für die Wanderungsbewegung zwischen Alten und Neuen Bundesländern ergibt sich die in Tab. 5-3 aufgezeigte Wohnflächenentwicklung.

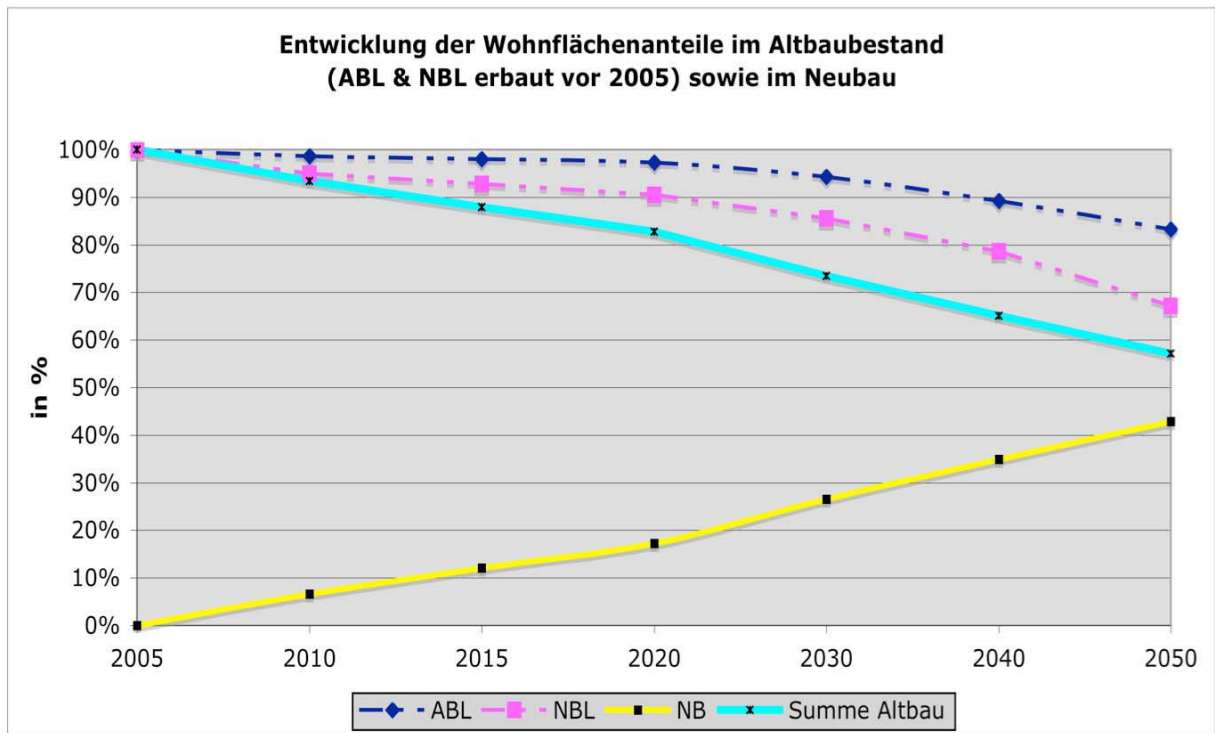
Tab. 5-4: Entwicklung der Wohnungsbestände

	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
<b>ABL</b>	<b>2.754.661</b>	<b>2.718.336</b>	<b>2.699.236</b>	<b>2.680.136</b>	<b>2.598.136</b>	<b>2.459.136</b>	<b>2.292.906</b>
<b>NBL</b>	<b>546.672</b>	<b>518.882</b>	<b>506.892</b>	<b>494.902</b>	<b>467.877</b>	<b>429.964</b>	<b>367.243</b>
<b>Neubau <sup>*)</sup></b>	-	<b>228.000</b>	<b>441.000</b>	<b>660.000</b>	<b>1.106.000</b>	<b>1.552.000</b>	<b>1.998.000</b>
<b>Summe</b>	<b>3.301.333</b>	<b>3.465.218</b>	<b>3.647.128</b>	<b>3.835.038</b>	<b>4.172.012</b>	<b>4.441.099</b>	<b>4.658.148</b>
Alle Angaben in 1.000 m <sup>2</sup>							
<sup>*)</sup> Baubestände mit Fertigstellung nach dem Jahr 2002							

Quelle: Eigene Modellrechnungen

Die Entwicklung des Gesamt-Baubestandes lässt sich aus den teilweise voneinander abhängigen Teilentwicklungen ablesen (Tab. 5-4). Im Wesentlichen sind durch die vorgegebene demographische Entwicklung in den Modellberechnungen der aus der Vergangenheit abgeleitete Abriss und der daraus resultierende Neubaubedarf berechnet worden. In Abb. 5-1 ist die Entwicklung des Baubestandes nach Alten und Neuen Bundesländern sowie dem Neubaubedarf dargestellt.

Abb. 5-1: Entwicklung der Wohnflächenanteile von Alt- und Neubauten



Quelle: Eigene Modellrechnungen

## 5.2 Energetische Parameter

### 5.2.1 Strommix

Für alle MaRes-Szenarien wurden Annahmen zur Entwicklung des Strommixes getroffen, der im Stoffstrommodell dem direkten Stromverbrauch der Herstellung von Dämmstoffen sowie der Nutzung von Strom zu Heizzwecken zu Grunde gelegt wird.

Der Strommix jedes Szenarios wird im Folgenden an Hand von Abbildungen erläutert, die verschiedene mögliche Entwicklungen der prozentualen Anteile verschiedener Technologien an der Stromerzeugung in Deutschland bis 2050 aufzeigen. Die Annahmen zur Stromerzeugung basieren dabei – wie in Kapitel 4.2 beschrieben – überwiegend auf Energieszenarien aus der *Leitstudie 2008* (BMU 2008).

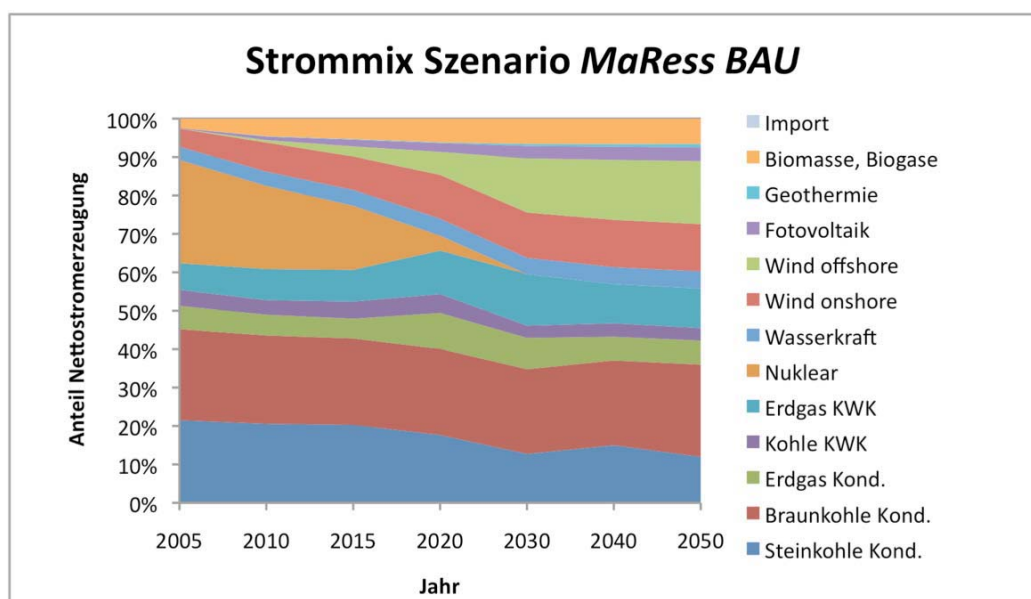
Einzige Ausnahme bildet das Szenario *MaRes BAU*, das aus anderen Quellen zusammen gestellt werden musste. Da die Stromerzeugung dort nur in Nettowerten ausgewiesen ist, wurde dieser Strommix abweichend nicht aus der Brutto-, sondern aus der Nettostromerzeugung abgeleitet. Da als Inputgröße für das Stoffstrommodell allerdings nur prozentuale Anteile, nicht aber absolute Erzeugungsmengen von Bedeutung sind, erscheinen die hieraus resultierenden Abweichungen durch unterschiedlich hohe Eigenverbräuche der Kraftwerke vernachlässigbar.

### Szenario *MaRes BAU*

Der im Szenario *MaRes BAU* auf Grundlage der Netto-Stromerzeugung angenommene Strommix ist in Abb. 5-2 dargestellt. Die Kurvenverläufe entsprechen dabei bis 2030 im Grundsatz dem Referenzszenario der Energieprognose 2009 (IER et al. 2009:84,218), wobei zur besseren Vergleichbarkeit einige der dort aufgeführten Erzeugungstechnologien zu Gruppen zusammengefasst wurden. Abweichend bleiben Netto-stromimporte unberücksichtigt, die von der Energieprognose 2009 ab 2015 erwartet, aber nicht näher definiert werden. Der für 2030 angenommene CCS-Anteil an der Braunkohle wurde zudem als konventionelle Braunkohle-Verstromung modelliert. Auf Grund fehlender Angaben zur weiteren Entwicklung nach 2030 wurde diese analog zur relativen Entwicklung im Referenzszenario der Studie WWF Modell Deutschland 2050 (Öko-Institut und prognos 2009:335) bis zum Jahr 2050 fortgeschrieben.

Der Strommix im Szenario *MaRes BAU* ist gekennzeichnet durch einen nur moderaten Rückgang der Erzeugung von Steinkohle-Kondensationsstrom und weitgehend konstanten Anteilen der weiteren fossilen Stromquellen, wobei Erdgas-KWK mit leicht steigenden Anteilen eine Ausnahme darstellt. Insgesamt ist das Absinken der nicht-regenerativen Stromerzeugung in diesem Szenario von 89% auf 56% im Zeitraum von 2005 bis 2050 fast ausschließlich im Ausstieg aus der Kernkraft-Nutzung begründet. Dieser wird im Wesentlichen kompensiert durch den Ausbau der Onshore- und insbesondere der Offshore-Windkraft. Die Anteile weiterer Erneuerbarer wie Wasserkraft und Biomasse bleiben konstant oder erreichen im Fall der Geothermie keine relevante Größenordnung (0,9%). Importe erneuerbarer Energieträger werden nicht angenommen.

Abb. 5-2: Strommix im Szenario *MaRes BAU*



Quelle: Eigene Darstellung nach IER et al. (2009) und Öko-Institut und prognos (2009)

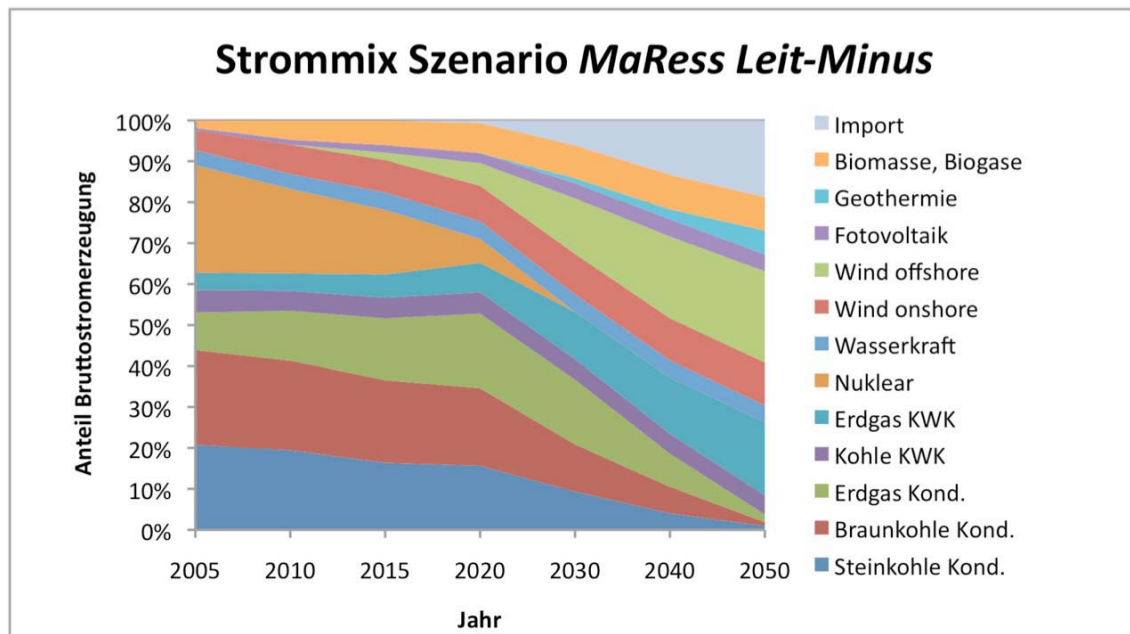
Auf Grundlage dieses Strommixes und der Abbildung der Stromerzeugung im Stoffstrommodell ergeben sich nach eigenen Berechnungen für die Bereitstellung von Strom auf der Niederspannungsebene spezifische Emissionsminderungen der Prozesskette von etwa 19% oder 128 g CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro kWh Strom in 2050 gegenüber 2005.

### Szenario *MaRes Leit-Minus*

Der Strommix des Szenarios *MaRes Leit-Minus* basiert auf der in Abb. 5-3 dargestellten Brutto-Stromerzeugung. Datengrundlage sind hier die Annahmen aus dem Defizitszenario D1 der Leitstudie 2008. Der Ausbau der erneuerbaren Energien entspricht dabei dem Leitszenario derselben Studie (BMU 2008:79,162), das auch für das Szenario *MaRes Leit-Plus* verwendet wurde und deshalb Gegenstand des nächsten Abschnittes ist. Auf Grund verringerter Wirksamkeit von Effizienzmaßnahmen wird hier allerdings eine höhere Bruttostromerzeugung angenommen.

Aus der Annahme, dass die absoluten Erzeugungsmengen aus erneuerbaren Quellen im Vergleich zum Leitszenario unverändert bleiben und der Mehrbedarf anteilmäßig auf alle fossilen Energieträger verteilt wird, ergibt sich die dargestellte Entwicklung des Strommixes für das Szenario *MaRes Leit-Minus* (BMU 2008:189). Hieraus ergibt sich zusätzlich der Effekt, dass die Tendenz der Entwicklung des Strommixes im Szenario *MaRes Leit-Minus* der des Szenarios *MaRes Leit-Plus* entspricht, während sich die Verhältnisse an der Bruttostrom-Erzeugung geringfügig zugunsten der fossilen Energieträger verschieben: Während diese in 2050 noch einen Anteil von 26% aufweisen, wird im Mix ein Erneuerbarer Anteil von 74% erwartet.

Abb. 5-3: Strommix im Szenario *MaRes Leit-Minus*



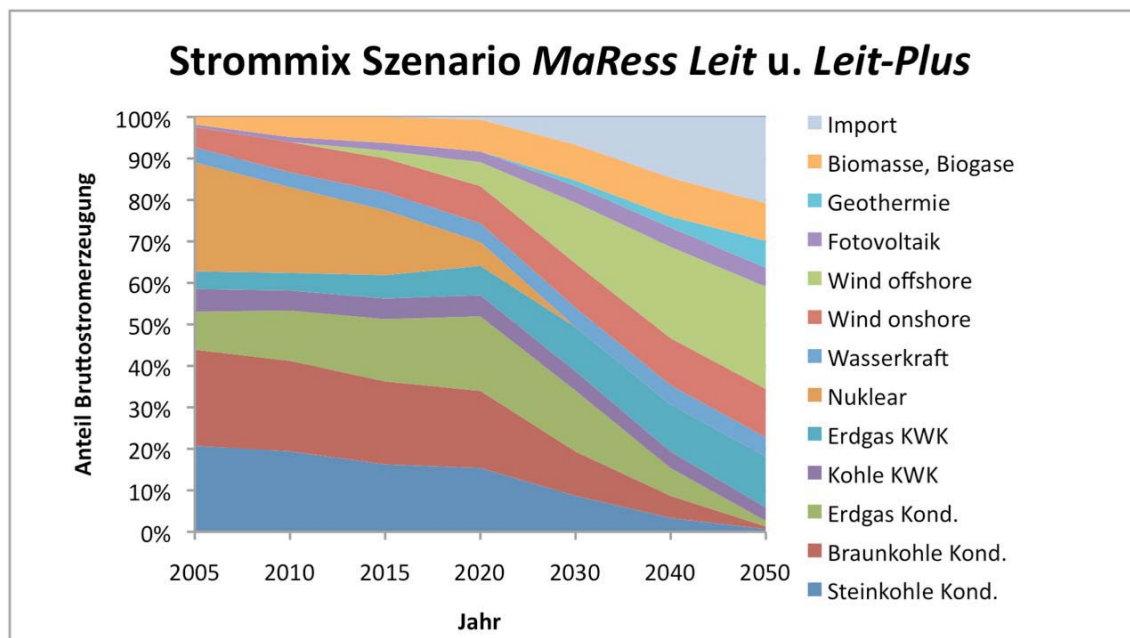
Quelle: Eigene Darstellung nach BMU 2008

Für die Bereitstellung von Strom auf der Niederspannungsebene ergeben sich hieraus spezifische Emissionsminderungen der Prozesskette von etwa 62% oder 424 g CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro kWh Strom in 2050 gegenüber 2005.

### Szenario *MaRes Leit*

Abb. 5-4 zeigt die Annahmen zur Brutto-Stromerzeugung für den Strommix im Szenario *MaRes Leit*, die weitestgehend unverändert aus dem Leitszenario der Leitstudie 2008 übernommen wurden (BMU 2008:79,162). Detaillierte Angaben der Leitstudie zur Stromerzeugung in Kondensations- und KWK-Anlagen wurden genutzt, um die Brutto-Stromerzeugung nach diesen Kraftwerksarten weiter zu differenzieren (BMU 2008:81).

Abb. 5-4: Strommix in den Szenarien *MaRes Leit* und *MaRes Leit-Plus*



Quelle: Eigene Darstellung nach BMU (2008)

Der Strommix im Szenario *MaRes Leit* zeichnet sich durch einen erheblichen Rückgang der fossilen Stromerzeugung auf etwa 18% in 2050 ab, die zudem überwiegend aus KWK-Anlagen stammt. Unter den nicht-regenerativen Energieträgern nimmt daher im Zeitverlauf von 2005 bis 2050 nur der Anteil des in Kraft-Wärme-Kopplung genutzten Erdgases zu, während die restliche fossile Erzeugung (inklusive Kernenergie) vom Basisjahr an oder spätestens ab 2020 zurückgeht. Schon im Jahr 2030 erreichen die Erneuerbaren Energieträger einen Anteil von 50% an der Stromerzeugung und werden damit im Stromsektor zur wichtigsten Energiequelle. Ihre Bedeutung nimmt bis zum Jahr 2050 weiter zu – die Erneuerbaren dominieren dann die Stromversorgung mit einem Anteil von 82% an der Bruttostromerzeugung. Diese deutliche Steigerung wird insbesondere erreicht durch den Ausbau der Offshore-Windkraft an den deutschen Küsten und Importe über ein europäisches HGÜ-Verbundnetz, das Strom aus solarthermischen Kraftwerken und weiteren Offshore-Windkraftanlagen liefert. Während



sich bei der Wasserkraft nur noch geringfügige Ausbaupotenziale zeigen, nimmt auch die Bedeutung der Onshore-Windkraft, Fotovoltaik, Geothermie- und Biomasse-Nutzung weiter zu.

Für die Bereitstellung von Strom auf der Niederspannungsebene ergeben sich hieraus spezifische Emissionsminderungen der Prozesskette von etwa 70% oder 483 g CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro kWh Strom in 2050 gegenüber 2005.

### **Szenario *MaRess Leit-Plus***

Der Strommix im Szenario *MaRess Leit-Plus* ist identisch mit den Strommix-Vorgaben aus *MaRess Leit* und stimmt daher mit der bereits zuvor beschriebenen Abb. 5-4 überein. Im Vergleich zu *MaRess Leit* ist hier aber der Heizenergie- und damit auch der Stromverbrauch elektrischer Heizungen weiter abgesenkt.

### **5.2.2 Wärmemix**

Der in den MaRess-Szenarien eingesetzte Wärmemix, das heißt die Verteilung der Heizungs- und Warmwasser-Erzeugungsanlagen auf Energieträger, erfolgte lediglich durch die zu erreichenden Potenziale der erneuerbaren Energieträger sowie durch den Wandel, der durch den Ab- und Zugang von abgerissenen und neugebauten Wohngebäuden entsteht. Eine eigenständige, durch politische Maßnahmen forcierte Heizungsanlagenerneuerung wurde hinsichtlich der zu analysierten Wechselwirkungen von Dämmstoffen nicht berücksichtigt, um die *direkten* Wirkungszusammenhänge nicht zu verschleiern. Hinsichtlich der *indirekten* Wirkungszusammenhänge von Wärmedämmung, zunehmender Forcierung der erneuerbaren Energien (zunehmende Dezentralität) und der Ökobilanzierung von Heizungsanlagen besteht zur Zeit noch erheblicher Forschungsbedarf.

In den folgenden Teilabschnitten werden die jeweiligen Energieträger der eingesetzten Heizungsanlagen für die MaRess-Szenarien dargestellt.

### **Szenario *MaRess BAU***

Im Szenario *MaRess Bau* sind lediglich die derzeitig entsprechenden Trends fortgeführt. Dies bedeutet im Wesentlichen inter-technologische Substitution von Niedertemperaturkesseln durch Brennwert-Technologie sowie Ausbau der Strom-Wärmepumpen im Neubaubereich.

Abb. 5-5: Einsatz der Heizungsanlagen nach Energieträgern im Szenario *MaRes BAU*

<b>Endenergiebilanz (RW + WW)</b>							
<b>%</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2040</b>	<b>2050</b>
Fernwärme	6,7%	7,3%	7,8%	8,1%	7,4%	8,5%	10,2%
Öl	38,2%	37,4%	37,3%	36,3%	29,8%	26,4%	22,3%
Gas	46,3%	47,0%	47,0%	47,2%	54,3%	57,7%	59,8%
Kohle	1,7%	1,2%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,6%
Strom	5,7%	5,5%	5,6%	5,8%	5,7%	4,2%	3,4%
Solar	0,2%	0,4%	0,6%	0,7%	0,9%	1,6%	2,6%
Biomasse	1,1%	1,2%	1,1%	1,1%	1,0%	1,0%	1,0%
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

© Wuppertal Institut, MaRes BAU

Quelle: Eigene Modellberechnungen

### Szenario *MaRes Leit-Minus*

Das Szenario *MaRes Leit-Minus* orientiert sich weitgehend an dem Szenario *MaRes Bau*. Lediglich durch die leichte Verschärfung der Wärmedämmstandards (vergleiche die jeweiligen Wärmeschutzverordnungen und weiterführende Annahmen in Tab. 5-1) kommt es auch zu Veränderungen in der Heizungsverteilung.

Abb. 5-6: Einsatz der Heizungsanlagen nach Energieträgern im Szenario *MaRes Leit-Minus*

<b>Endenergiebilanz (RW + WW)</b>							
<b>%</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2040</b>	<b>2050</b>
Fernwärme	6,7%	9,0%	10,2%	11,5%	13,5%	15,7%	19,0%
Öl	38,2%	33,6%	30,0%	27,0%	19,4%	13,3%	7,4%
Gas	46,3%	47,0%	46,8%	47,3%	51,8%	54,1%	54,0%
Kohle	1,7%	0,9%	0,5%	0,5%	0,2%	0,1%	0,1%
Strom	5,7%	6,8%	9,3%	9,9%	10,1%	10,9%	12,1%
Solar	0,2%	0,3%	0,3%	0,6%	1,2%	2,0%	3,1%
Biomasse	1,1%	2,3%	2,8%	3,3%	3,8%	4,0%	4,4%
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

© Wuppertal Institut, MaRes-Leit Minus

Quelle: Eigene Modellberechnungen

### Szenario *MaRes Leit*

Im Szenario *MaRes Leit* kommt es zu zwei wesentlichen Dynamiken, die auf die Heizungsanlagenverteilung Einfluss nehmen: einmal das hohe Einsparpotenzial, das durch die Wärmedämmung erzielt worden ist, und zum anderen die Vorgaben des erneuerbaren Energie-Einsatzes zur Deckung des Heizenergiebedarfes.



Abb. 5-7: Einsatz der Heizungsanlagen nach Energieträgern im Szenario *MaRes Leit*

<b>Endenergiebilanz (RW + WW)</b>							
<b>%</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2040</b>	<b>2050</b>
Fernwärme	6,7%	9,2%	10,4%	13,2%	16,9%	21,2%	28,0%
Öl	38,2%	33,9%	30,6%	26,4%	19,7%	15,2%	9,9%
Gas	46,3%	47,1%	47,1%	46,8%	49,0%	46,5%	41,0%
Kohle	1,7%	0,4%	0,4%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Strom	5,7%	6,8%	7,9%	6,9%	5,7%	5,5%	4,8%
Solar	0,2%	0,3%	0,6%	1,5%	2,7%	4,8%	8,0%
Biomasse	1,1%	2,4%	2,9%	5,0%	6,0%	6,8%	8,1%
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
© Wuppertal Insitut, MaRes Leit							

Quelle: Eigene Modellberechnungen

### Szenario *MaRes Leit-Plus*

Die oben aufgeführten Effekte des Szenarios *MaRes Leit* werden im Szenario *MaRes Leit-Plus* weiter verstärkt. Zum einen ist der erzielte Wärmedämmstandard weiter erhöht und deren Umsetzungsraten im Szenariohorizont fast ausgeschöpft worden. Ferner sind die absoluten Potenziale der erneuerbaren Energien vom Szenario *MaRes Leit* übertragen worden, was eine zusätzliche Substitutionsdynamik auslöst.

Abb. 5-8: Einsatz der Heizungsanlagen nach Energieträgern im Szenario *MaRes Leit-Plus*

<b>Endenergiebilanz (RW + WW)</b>							
<b>%</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2040</b>	<b>2050</b>
Fernwärme	6,7%	9,4%	11,3%	15,1%	20,9%	29,2%	46,4%
Öl	38,2%	32,8%	30,0%	24,8%	16,9%	9,2%	2,5%
Gas	46,3%	47,8%	46,8%	46,0%	46,7%	42,6%	25,0%
Kohle	1,7%	0,4%	0,4%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%
Strom	5,7%	6,7%	8,1%	7,4%	6,0%	5,5%	4,5%
Solar	0,2%	0,3%	0,3%	0,9%	2,3%	4,5%	9,0%
Biomasse	1,1%	2,4%	3,1%	5,5%	7,1%	8,9%	12,7%
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
© Wuppertal Insitut, MaRes-Leit Plus							

Quelle: Eigene Modellberechnungen

### 5.2.3 Brennstoffausnutzung fossiler Kraftwerke

In der Abbildung der Strombereitstellung im Stoffstrommodell besteht darüber hinaus die Möglichkeit, Umwandlungswirkungsgrade fossiler Kondensationskraftwerke als Quotient aus Bruttostromerzeugung und Energieträgereinsatz zu definieren. Die getroffenen Annahmen sind für alle MaRes-Szenarien identisch und können Tab. 5-5 entnommen werden. Die Angaben basieren bis zum Jahr 2030 auf Ergebnissen aus EWI und Prognos (2005), ergänzt um eine konstante Fortschreibung bis 2050.

Tab. 5-5: Durchschnittliche Brennstoffausnutzung im jeweiligen Bestand fossiler Kondensationskraftwerke

Brennstoff und Kraftwerkstyp	Land	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Steinkohle, in Kondensationskraftwerk	DE	41,1	41,5	42,2	43,3	48,0	48,0	48,0
Braunkohle, in Kondensationskraftwerk	DE	38,8	40,1	41,1	42,6	43,4	43,4	43,4
Erdgas, in Kondensationskraftwerk	DE	49,5	49,4	52,1	56,9	60,2	60,2	60,2
Alle Angaben in %								

Quelle: EWK und Prognos (2005) und eigene Fortschreibung

Für weitere Kraftwerke und Brennstoffe wurden keine variablen Energieträgerausnutzungsgrade implementiert. Entsprechende statische Faktoren sind implizit in den verwendeten Prozessmodulen der ecoinvent-Datenbank enthalten.

### 5.3 Gebäudeparameter (Szenarienannahmen in *HEAT*)

Neben den oben beschriebenen Annahmen, die die Energieszenarien direkt betreffen, wurden für jedes MaRes-Szenario weitere Annahmen zur Modellierung der jeweiligen Energieverbräuche im Wohnsektor getroffen, die im Folgenden beschrieben werden.

#### Szenario *MaRes BAU*

Innerhalb des Szenarios *MaRes BAU* bestehen spezifische Zielvorgaben nur insofern, als dass einer geringen Verschärfung bis zum Jahr 2020 der derzeit (Stand 02.2009) geltenden ENEC um abzüglich 15% auf den HT'-Wert (HT = baukörperbezogener mittlerer Transmissionswärme-Kennwert) vorgenommen wurde. Auch bis zum Jahr 2050 werden lediglich Effizienzmaßnahmen umgesetzt, die im Bereich des Trendsparens liegen.

#### Szenario *MaRes Leit-Minus*

Auch im Szenario *MaRes Leit-Minus* werden keine konkreten Klimaschutzvorgaben gemacht. Allerdings wird unterstellt, dass gegenüber Trendbedingungen in deutlich erhöhtem Umfang Effizienztechniken (sowohl auf der Nachfrageseite als Wärmedämmsysteme als auch auf Angebotsseite als „technisch-verbessertes“ Heizungssystem differenzierbare Effizienztechnik) zur Anwendung kommen. Als erweiterter Eingriff kommen zusätzlich zu den Effizienzmaßnahmen Maßnahmen im Bereich der Erneuerbaren Energien zum Einsatz. Zum anderen werden die Bedingungen zur Umsetzung wärmetechnischer Maßnahmen erweitert, so dass es zu einer leichten Zunahme der Umsetzungsraten kommt (vergleiche Tab. 5-7).

#### Szenario *MaRes Leit*

Im darauf aufbauenden Szenario *MaRes Leit* wird schließlich ein Zukunftspfad vorgegeben, der die maßgeblichen Ziele einer nachhaltigen Entwicklung des Energiesystems erfüllt. Dies gilt insbesondere für die Verminderung der Treibhausgasemissionen (Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 80% bis 2050 gegenüber 1990) als Leitziel. Kon-

kret bedeutet dies eine Reduzierung von HT' um 80% für den *Altbau* und einer Passivhausvorgabe für den *Neubau* ab dem Jahr 2020.

### Szenario *MaRes Leit-Plus*

Um die jeweiligen kombinierten Effekte der Szenarien auf ihre Einzelwirkungen zu untersuchen, bietet es sich an, innerhalb so genannter Sensitivitätsrechnungen Einzeleffekte zu isolieren, um deren Einzelwirkungen gegenüber den anderen abzuschätzen. Die MaRes-Szenarien sind daher um eine weitere Variante erweitert worden: Da die Potenziale der erneuerbaren Energien im Szenario *MaRes Leit* technologisch und infrastrukturell im Energiesystem umgesetzt sind, bietet es sich an, diese absoluten Mengen auch in einem verschärften Szenario mit reduziertem Heizenergiebedarf zu verwenden.

Tab. 5-6: Mix aus erneuerbaren Energien zur Deckung des Raumwärmebedarfes im Szenario *MaRes Leit-Plus* (mit entsprechenden Potenzialen aus dem Szenario *MaRes Leit*)

Aufteilung der Regenerativen Energien & (konventionelle) Fernwärme							
im Szenario:	<i>High-Potential &amp; Leitstudie</i>						
in PJ	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
<b>Nah-/Fernwärme</b>	<b>161,49</b>	<b>198,67</b>	<b>207,55</b>	<b>247,65</b>	<b>280,78</b>	<b>303,27</b>	<b>325,76</b>
* darunter: konvent. FW	160,81	143,74	137,56	115,21	88,63	64,74	40,86
* darunter: REG - Nahwärme	0,68	54,93	69,99	132,44	192,15	238,53	284,90
- Solar (REG-Nahwärme)	0,00	0,61	4,22	15,48	31,29	47,10	62,90
- Geothermie (REG-Nahwärme)	0,68	3,21	8,44	26,66	65,10	98,97	132,83
- Biomasse (REG-Nahwärme)	0,00	51,10	57,33	90,30	95,76	92,47	89,17
<b>REG-Einzelversorgung</b>	<b>31,97</b>	<b>56,62</b>	<b>63,58</b>	<b>105,78</b>	<b>127,05</b>	<b>139,56</b>	<b>152,07</b>
- Solar (Einzel)	4,97	5,52	6,26	15,48	31,29	47,10	62,90
- Biomasse (Einzel)	27,00	51,10	57,33	90,30	95,76	92,47	89,17
<b>Weitere Objektversorgung</b> (Brennstoffzelle, Micro-KWK, Sterling...)	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>REG-Potential</b> (ohne konvent. FW)	<b>32,65</b>	<b>111,54</b>	<b>133,57</b>	<b>238,22</b>	<b>319,20</b>	<b>378,09</b>	<b>436,97</b>
<b>Endenergie (PJ)</b>	<b>2.401,88</b>	<b>2.102,50</b>	<b>1.843,77</b>	<b>1.635,20</b>	<b>1.344,27</b>	<b>1.039,29</b>	<b>701,84</b>
<b>Anteil REG (%)</b>	<b>1,36</b>	<b>5,31</b>	<b>7,24</b>	<b>14,57</b>	<b>23,75</b>	<b>36,38</b>	<b>62,26</b>
<b>Anteil REG ohne Wärmestrom (%)</b>	<b>1,44</b>	<b>5,69</b>	<b>7,88</b>	<b>15,73</b>	<b>25,25</b>	<b>38,48</b>	<b>65,20</b>

© Wuppertal Institut (Peter Viebahn, Thomas Hanke), 2009

Quelle: Eigene Modellrechnungen

Die Übertragung der absoluten erneuerbaren Energiepotenziale aus dem Szenario *MaRes Leit* ergibt, wie in Tab. 5-6 dargestellt, einen anteilmäßig höheren „Erneuerbare“-Anteil, in Relation zur Wärmenachfrage im Szenario *MaRes Leit* von rund 16%.

Trotz der Einbeziehung erweiterter technischer Lösungen zur Reduzierung des Nutzenergiebedarfes sind im Szenario *MaRes Leit* und *MaRes Leit-Plus* lediglich Maßnahmen abgebildet, die unterhalb eines anlegbaren Preises von 6,7 ct/kWh Einsparung (*MaRes Leit*) sowie unter 8,8 ct/kWh (*MaRes Leit-Plus*) liegen. Bei derzeitigen Wärmepreisen von um 6-7 ct/kWh und deren Steigerungsraten in der Zukunft können die umgesetzten Maßnahmen in beiden Fällen als realistische wirtschaftliche Grenzkostenannahme betrachtet werden.

Im Hinblick auf die Analyse und Bewertung der mit der Umsetzung der verschiedenen Zukunftspfade verbundenen Anstrengungen ist es sinnvoll, die gewählte Aufteilung der Szenarien weiter zu verfeinern. Als zusätzliche Gliederungselemente können die energiepolitische *Umsetzungsintensität* sowie die Notwendigkeit zur Durchführung strukturverändernder Maßnahmen verwendet werden. Unter der Umsetzungsintensität ist ein Maßstab für die Tiefe und Breite der erforderlichen Veränderungen sowie die Intensität der diesen entgegengesetzten Hemmnissen zu verstehen.

### **Treibergröße: Entwicklung der Sanierungsrate**

Die Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen verläuft langsam und ist dem Tempo des technischen Fortschrittes nicht angepasst, das heißt die technischen Möglichkeiten werden bei weitem nicht ausgenutzt. Dies entspricht dem Sanierungsfortschreiten der letzten 30 Jahre. Investitionsrechnungen des Wirtschaftszweiges „Innenausbaugewerbe“ haben ergeben, dass die derzeitige Umsetzungsrate von Modernisierungs- und Renovierungsmaßnahmen an Gebäuden, an die eine Maßnahme zu Reduktion des Wärmebedarfes gekoppelt ist, zwischen 0,5 und 0,7% p.a. der Wohnfläche beträgt.

Da weder mit der EnEV 2002 (Ausgangspunkt ist das Szenario-Basisjahr 2005), noch mit deren dynamisierten Nachfolgern wie die im Jahr 2009 in Kraft getretene EnEV 2009, noch mit dem Energiepass als Vertreter harter Maßnahmen sowie mit weicheeren Maßnahmen wie der Förderung der Energieberatung von Wohngebäuden oder der Änderung des Energiesparrechts eine Sanierungspflicht gekoppelt ist, bleiben die Hemmnisse für eine breite Umsetzung von Wärmeschutzmaßnahmen im Altbau weiterhin bestehen. Evaluierungen der Programme und Maßnahmen (einschließlich der KfW-Kreditvergabe) haben gezeigt, dass die Quote der *Mitnahmeeffekte* dieser Programme relativ hoch ist (Vergleiche Kleemann/Hansen (2005), ISI et al. (2005); Korytarova (2006)). Daraus folgt, dass die Wirkung der Sanierungen, die unmittelbar durch die beschriebenen Maßnahmen getätigt wurden, vor dem Hintergrund des großen Sanierungsstaus marginal ist. Lediglich durch die Energiespartipps und der „Vor-Ort“-Beratung im Zusammenhang mit dem Energiepass lässt eine leichte Zunahme der Sanierungsraten vermuten.

Für die Umsetzungsraten der MaRes-Szenarien gelten die Größenordnung der in Tab. 5-7 niedergelegten Sanierungsraten.

Tab. 5-7: Entwicklung der Umsetzungsraten bei der Sanierung in den MaRes-Szenarien *BAU*, *Leit-Minus*, *Leit* und *Leit-Plus* bezogen auf jährlich sanierte Wohnflächen

% p.a.	Bis 1998	1999 - 2005	2006 - 2010	2011 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050
<b>(1) Autonome Umsetzungsrate (MaRes BAU)</b>	0,5	0,5	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9
<b>(2) Maßnahmen induzierte Umsetzungsrate (MaRes Leit-Minus / MaRes Leit)</b>							
- Autonom (siehe oben -1-)	0	0	0,08	0,12	0,4	0,4	0,6
+ Energiepass/-beratung	0,06	0,2	0,3	0,4	...	...	...
+ KfW- CO <sub>2</sub> -Gebäude-sanierungsprogramm)							
<b>ZWISCHENSUMME</b>		0,7	1,08	1,22	1,3	1,5	1,5
<b>(3) Maßnahmen indizierte Umsetzungsrate (MaRes Leit-Plus)</b>							
Autonom (siehe -1-)							
+ Effizienzmaßnahmen (2)							
+ Erweiterte flankierende Maßnahmen zur Umsetzungssteigerung			0,6	0,8	0,8	0,9	1
- N.N							
<b>SUMME aus (1-3)</b>		0,7	1,68	2	2,1	2,4	2,5

Quelle: Rückrechnungen aus Wohnflächen mit geförderten KfW-Mitteln; Modellannahme Hanke / Richter (2007); Energiepassprognose nach BMWA von 0,7 - 1 Mio. Energiepässen pro Jahr

## 5.4 Produktvarianten (Variation von Produktionsvorketten)

### 5.4.1 Direkter Stromverbrauch von Heizungen und Dämmstoffherstellung

Über die Einbindung veränderter Strommixe lässt sich der direkte Strombezug der modellierten Prozesse verändern, um eine Entwicklung der Strombereitstellung aus zunehmend regenerativen Quellen darzustellen. Auch durch diese Modifikation der Vorketten ist ein Rückgang beispielsweise der spezifischen THG-Emissionen der Herstellung von Produkten und Bereitstellung von Energie zu erwarten. Dies betrifft insbesondere die Herstellung von Dämmstoffen und den Stromverbrauch von elektrischen Heizungen, in begrenztem Umfang aber zum Beispiel auch den Eigenstrombedarf von Gasheizungen. Die diesbezüglich getroffenen szenariospezifischen Annahmen auf Grundlage von Energieszenarien wurden bereits in Kapitel 5.2 beschrieben.

### 5.4.2 Treibmittel der Dämmstoffherstellung

Neben der Veränderung der Annahmen zur Entwicklung des Strommixes bietet das Stoffstrommodell eine weitere Möglichkeit, Einfluss auf die Bereitstellungsvorketten der modellierten Produktsysteme zu nehmen:

Die Produktion von extrudiertem Polystyrol (XPS) und anderen Dämmstoffen auf Kunststoff-Basis erfolgt unter Einsatz von Treibmitteln, die zum Aufschäumen des jeweiligen Vorprodukts eingesetzt werden. Die Auswahl des Treibmittels – verwendet werden für XPS überwiegend CO<sub>2</sub> sowie die Fluorkohlenwasserstoffe FKW 134a und FKW 152a – hat dabei große Auswirkung auf die spezifischen Treibhaus- und Ozonabbaupotenziale der Dämmstoffe, die auf Emissionen der Treibmittel selbst oder auf prozessbedingte Emissionen während der Herstellung zurückgeführt werden können.

Nach FNB (2010) ist in Deutschland hergestelltes XPS weitgehend frei von halogenierten Verbindungen, wird überwiegend mit CO<sub>2</sub> aufgeschäumt und weist dadurch im Vergleich zu FKW-geschäumtem XPS wesentlich geringere Umweltwirkungspotenziale auf. In Ermangelung konkreter Branchendaten zu Marktanteilen von Treibmitteln in der Dämmstoffproduktion wurde innerhalb der MaRess-Szenarien eine konservative Schätzung vorgenommen, die aus Sicht des Treibhaus- und Ozonabbaupotenzials annähernd einen „Best Case“ darstellt: Der Anteil des Treibmittels CO<sub>2</sub> liegt dabei bereits im Basisjahr 2005 bei 90%, steigt bis 2030 auf 96% an und bleibt dann konstant. Der verbleibende Treibmittelbedarf von 10% bis 4% entfällt jeweils zur Hälfte auf die genannten FKW-Treibmittel. Aus den Modellrechnungen wurde hieraus mittels ecoinvent 2.1 ein spezifisches Treibhauspotenzial von etwa 5 kg CO<sub>2</sub>-Äq./kg XPS berechnet.

Die Auswirkungen der Abweichung von dieser Annahme auf die LCA-Ergebnisse werden zusätzlich in einer Sensitivitätsanalyse herausgearbeitet, die für das Szenario *MaRess Leit-Plus* von einer konstanten Treibmittel-Zusammensetzung von 50% CO<sub>2</sub> und jeweils 25% FKW 134a und FKW 152a ausgeht. Das spezifische Treibhauspotenzial steigt durch diese Anpassung etwa um den Faktor 2 gegenüber der oben genannten im Wesentlichen CO<sub>2</sub>-basierten Aufschäumung (eigene Berechnungen nach ecoinvent 2.1). Da bei der Produktion des FKW 134a die Ozonabbauenden Substanzen FCKW-113 und H-FCKW-124 freigesetzt werden, ist in der Sensitivität auch mit einem verstärkten Ozonabbaupotenzial zu rechnen. Die Annahmen zum Treibmittelmix für alle Szenarien und Stützjahre sind in Tab. 5-8 zusammenfassend dargestellt.

Tab. 5-8: Treibmittelmix der Dämmstoffproduktion (XPS) in den Szenarien

MaRess-Szenarien	Treibmittel	2010	2015	2020	2030	2040	2050
<i>BAU, Leit-Minus, Leit, Leit-Plus</i>	CO <sub>2</sub>	90	92	94	96	96	96
	FKW 134a	5	4	3	2	2	2
	FKW 152a	5	4	3	2	2	2
<i>Leit Plus mit Sensitivität Treibmittel</i>	CO <sub>2</sub>	50	50	50	50	50	50
	FKW 134a	25	25	25	25	25	25
	FKW 152a	25	25	25	25	25	25
Alle Angaben in %							

Quelle: eigene Annahmen und ecoinvent 2.1



### 5.4.3 Variation des Dämmstoffes

Ausgangspunkt für die Betrachtung der Materialintensitäten ist das Szenario *MaRes Leit-Plus*, das mit zwei Materialvarianten für den Dämmstoff XPS und dem Dämmstoff Zellulose gerechnet worden ist. Dabei wurde die Blickrichtung auf die jeweiligen benötigten Materialinputs gelegt sowie die daraus entstandenen Trade-offs (Material- und Brennstoff-Einsparung gegenüber dem Materialmehrverbrauch) berechnet. Um die Varianz zweier Stoffe in der Analyse möglichst groß und die unterschiedlichen Umweltwirkungen differenziert ermitteln zu können, sind zwei Materialien aus unterschiedlichen Kategorien ausgewählt worden:

- **XPS/EPS** aus der Reihe der geschäumten Kunststoffe wie Polystyrol (Styropor), Neopor oder Polyurethan (XPS und EPS weisen derzeit bis auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen noch die gleichen Datengrößenordnungen in den MIPS-Kategorien auf. daher wird in der weiteren Betrachtung von XPS ausgegangen, um der Dynamik der technologische Entwicklung Rechnung zu tragen)
- **Zellulose** aus der Reihe der Naturdämmstoffe aus Nachwachsenden Rohstoffen wie Holzfaser, Holzwolle (zement- oder magnesitgebunden, z. B. Heraklith) oder tierische und pflanzliche Fasern wie Schafwolle, Kokosfaser, Hanffaser, Flachsfaser, Kapok, Kork, See- und Wiesengras sowie Schilfrohr(matten) oder Dämmstoffe aus Recyclingmaterial wie Zellulose aus Altpapier.

Ein realistische Abbildung der jeweilig aktuellen Marktverteilung einzelner Dämm-Materialien wurde demnach vernachlässigt.

## 6 Detaillierung der Szenarien-Eingriffe auf der Nachfrageseite und deren Treibergrößen in *HEAT*

Die im obigen Abschnitt kurz erläuterten politischen und technischen Rahmenbedingungen führen je Szenario zu unterschiedlichen Eingriffen und Wirkungen auf Leitparameter innerhalb des Systemausschnitts. Zur besseren Einordnung und Unterscheidung sind im Folgenden daher kurz die jeweils verwendeten Leitindikatoren aufgeführt.

### Szenario *MaRess BAU*

Im Szenario *MaRess BAU* sind lediglich die derzeitigen konkreten politischen Maßnahmen umgesetzt, die im Bereich der privaten Wohnungsbauten gelten (Einführung der EnEV 2009 sowie Einführung des Energiepasses).

Die im Szenario *MaRess BAU* wirkenden Annahmen lassen sich konkret kurz wie folgt zusammenfassen:

Tab. 6-1: Leitindikatoren im Szenario *MaRess BAU*

1	<b>Sanierungsrate</b> von 0,7%p.a. (Trend-Sparen)
2	Durchführung von Sanierungs-Maßnahmen zur Bauteilerneuerung von unter 4,4 ct/kWh. Der „ <b>anlegbare Preis</b> “ orientiert sich an derzeitigen Marktpreisen beziehungsweise Amortisationserwartungen auf der Nachfrageseite für Wärme-Energieträger (siehe unten).
3	Kurzfristige <b>Amortisation</b> von Einsparmaßnahmen (< 4 Jahre)
4	Geringe Verschärfung der <b>Bauteilanforderungen</b> (im Mittel von 15% des HT'-Wertes) für den Neubau sowie übertragen auch für den Altbau.
5	Umsetzung der ENEC 2009 für den Neubau sowie darin geltende Bauteilanforderungen

Quelle: Eigene Zusammenstellung

### Szenario *MaRess Leit-Minus*

Die im Szenario *MaRess Leit-Minus* wirkenden Annahmen lassen sich konkret wie folgt zusammenfassen:



Tab. 6-2: Leitindikatoren im Szenario *MaRes Leit-Minus*

1	Erhöhung der Sanierungsrate im Gebäudebestand von derzeit rund 0,7%/a auf 1,5%/p.a.
2	Durchführung von Maßnahmen unterhalb des „anlegbaren Preises“ von 6,7 ct/kWh (mittelfristige Orientierung an Marktpreisentwicklungen von Wärme-Energieträgern)
3	Kurzfristige Amortisation von Einsparmaßnahmen (< 10 Jahre)
4	Geringe Verschärfung der Bauteilanforderungen (im Mittel von 15% des HT'-Wertes) für den Neubau sowie übertragen auch für den Altbau. (Entspricht BAU-Anforderung BAU-4)
5	Deckung der (endenergiebezogenen) Wärmenachfrage von 14% durch erneuerbare Energien.

Quelle: Eigene Zusammenstellung

### Szenario *MaRes Leit*

*Rahmen-Prämisse:* Moderate Umsetzungsintensität, keine strukturverändernde Maßnahmen, Einsatz moderner Technologien mit hoher Energieeffizienz.

Die im Szenario *MaRes Leit* wirkenden Annahmen lassen sich konkret kurz wie folgt zusammenfassen:

Tab. 6-3: Leitindikatoren im Szenario *MaRes Leit*

1.	Erhöhung der Sanierungsrate im Gebäudebestand von derzeit rund 0,5%/a auf 1,22% bis 1,5%/p.a., Verstärkung/Verschärfung der Kontrollen bezüglich der Einhaltung von Bau- und Sanierungsvorschriften und Passivhausoffensive nach dem Jahr 2015.
2.	Durchführung von Maßnahmen unterhalb des „anlegbaren Preises“ von 6,8 ct/kWh (langfristige Orientierung an Marktpreisentwicklungen von Wärme-Energieträgern)
3.	Orientierung der Amortisation von Einsparmaßnahmen an der Lebensdauer von Bauteilen (15 - 20 Jahre)
4.	für den Altbau eine Reduzierung der Bauteilanforderungen (im Mittel über HT'') von 80% (Stand: EnEV 2002)
5.	Deckung der (endenergiebezogenen) Wärmenachfrage von 14% durch erneuerbare Energien.

Quelle: Eigene Zusammenstellung

### Szenario *MaRes Leit-Plus*

*Rahmen-Prämisse:* Weitgehende Umsetzung der Effizienzpotentiale (mittlere Umsetzungsintensität bei hohem Sanierungsstandard), aber keine direkten strukturverändernde Maßnahmen.

Eine Zusammenfassung der weiteren Maßnahmen in Szenario *MaRes Leit-Plus* zeigt Tab. 6-4. Im hier vorliegenden Szenario *MaRes Leit-Plus* ist nochmals ein zusätzlicher Einspareffekt durch die Erhöhung des anlegbaren Preises von 8,8 ct/kWh erzielt worden. Demnach sind schon 93% des technischen Einsparpotenzials von maximal 1.330 PJ bei gegebenen Umsetzungsstandard betriebswirtschaftlich erreichbar (vergleiche Tab. 7-3). Die Umsetzungsraten sind soweit erhöht worden, dass jedes Gebäude einmal im Szenariohorizont bis 2050 saniert worden ist. Dies bietet sich daher an, da der deutsche Baubestand, der in der historischen Betrachtung der letzten 30 Jahre nur etwa zu 0,5% der Wohnfläche einer Instandhaltung unterzogen worden ist, einen enormen Sanierungsstau abzubauen hat.

Tab. 6-4: Leitindikatoren im Szenario *MaRes Leit-Plus*

1	Erhöhung der Sanierungsrate im Gebäudebestand von derzeit rund 0,5%/a auf 2% bis 2,5%/p.a., Verstärkung/Verschärfung der Kontrollen bezüglich der Einhaltung von Bau- und Sanierungsvorschriften und Passivhausoffensive nach dem Jahr 2015.
2	Durchführung von Maßnahmen unterhalb des ‚anlegbaren Preises‘ von 8,8 ct/kWh (langfristige Orientierung an Marktpreisentwicklungen von Wärme-Energieträgern)
3	Orientierung der Amortisation von Einsparmaßnahmen an der Lebensdauer von Bauteilen (15 - 20 Jahre)
4	Verschärfung der Bauteilanforderungen für den Neubau auf Passivhausstandard ab 2015 sowie
5	für den Altbau eine Reduzierung der Bauteilanforderungen (im Mittel über HT“) von 80% (Stand: EnEV 2002)
6	Deckung der (endenergiebezogenen) Wärmenachfrage von der absolut erreichten Deckungsbeiträge aus dem Leit-Szenario durch erneuerbare Energien. (Entspricht ca. 16% der Wärmenachfrage durch den reduzierten Heizwärmebedarf)

Quelle: Eigene Zusammenstellung

In Tab. 6-5 sind die einzelnen Leitindikatoren zusammengefasst, die laut den jeweiligen Szenarienbetrachtungen variiert worden sind.

Tab. 6-5: Zusammenfassende Darstellung der Einflussgrößen im Gebäudebereich nach Szenarien

Szenarien				
Einflussgröße	<i>MaRes BAU</i>	<i>MaRes Leit-Minus</i>	<i>MaRes Leit</i>	<i>MaRes Leit-Plus</i>
<b>Zielvorgaben</b> • Leitstudie 2008 • Sonstiges	a. Endenergie b. Erneuerbare	a. Endenergie b. Erneuerbare	a. Endenergie b. Erneuerbare	--- --- Ergebnisorientiert Vollsanierung bei Ausschöpfung der Potenziale der er- neuerbaren Energien aus dem Leitszenario
Leitindikatoren der Nutzenergieebene (Gebäudeeffizienz)				
<b>Sanierungsrate</b>	Residuum bis < 0,7% p.a. Derzeitiger Sanie- rungsrate bei der Umsetzung von Wärmetechni- schen Maßnah- men an der Ge- bäudehülle	Residuum bis < 0,7% p.a.	Residuum < 1,5% p.a. Forcierung flankie- render Maßnahmen (Energieberatung Energiepass, KfW)	< 2,5% p.a.  Maximale Umset- zung (Vollsanierung)
<b>Anlegbarer Preis</b>		Residuum bis < 4,4 ct/kWh	Residuum bis < 6,7 ct/kWh	8,8 ct/kWh Orientierung an zu- künftige Preisent- wicklung der Ener- gieträger
<b>Amortisations- Erwartung</b>		< 4 Jahre Gewinnerwartung von Investitionen bei Haushalten	< 10 Jahre Mittlere Gewinner- wartung (Banken- praxis)	< 15 – 20 Jahre Orientierung an Le- benszyklen von Bau- teilerneuerungen
<b>Bauteilanforde- rung (Altbau)</b>	EnEV 2009 (Energiespar- verordnung)	EnEV 2009	-15% HT' (Mittlerer Heizwärmebedarf) (zur Basis EnEV 2009)	Schrittweise Ver- schärfung ab 2020 bis 2050 zum Pas- sivhaus
<b>Neubau bis 2020 2020 – 2050</b>		Residuum -15% HT'	Residuum - 80% HT'	- 80% HT' Passivhaus
Leitindikator(en) der Endenergieebene (Heizungsanlagenmix/-effizienz)				
<b>Potenziale er- neuerbare Ener- gien</b>	VORGABE der Referenz- Entwicklung	VORGABE aus dem Leitszenario (D1 verminderte Effizienz)	14,8% der Wärmenachfra- ge 2020 (ohne Wärmestrom)	Absolut-Werte aus Leitszenario
<b>Technischer Fortschritt (spez. Nutzungsgrad)</b>	BAU	BAU	BAU	BAU

Quelle: Eigene Zusammenstellung

## 7 Modellierungsergebnisse

In diesem Kapitel werden zunächst die Ergebnisse des Technologiemoells vorgestellt. Sie münden in die Bereitstellung von Material- und Energiebedarfsdaten, die an das Stoffstrommodell weiter gegeben werden. In einem zweiten Schritt folgen dann die Ergebnisse aus der Ökobilanzierung, die den Trade-off zwischen Effizienzmaßnahmen und Mehrverbrauch an Dämmmaterialien darstellen. Ergänzend wird – ohne Modellumgebung – eine Trade-off Analyse mittels MIPS-Indikatoren durchgeführt, der eine Erweiterung der in Ökobilanzen üblicherweise verwendeten Ressourcenindikatoren darstellt. In diesem Rahmen erfolgt gleichzeitig ein Vergleich der beiden Dämmvarianten XPS und Zellulose.

### 7.1 Material- und Energieflüsse im Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“

In den folgenden Abschnitten sind die Ergebnisse der MaRess-Szenarienberechnung dargestellt. Sie sind je nach Szenario zusammengefasst und im einzelnen wie folgt strukturiert:

1. *Nutzenergiebilanzen* für Raumwärme in den Alten und Neuen Bundesländern sowie für die Neubau;
2. *Endenergiebilanz* (Raumwärmebedarf);
3. Energieaufwand für den *Warmwasserbedarf*;
4. Entwicklung der *Potenziale für die erneuerbare Energien*;
5. Entwicklung der *Treibhausgas-Emissionen*<sup>3</sup>, dargestellt als CO<sub>2</sub>-Äquivalente (berücksichtigt wurden CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O);
6. *Sanierungskosten (Mehrkostenansatz)*;
7. direkter *Materialaufwand* (durch Dämmmaterialien).

#### 7.1.1 Darstellung der einzelnen Szenarien

##### **Szenario MaRess BAU**

Durch die Umsetzung der in Tab. 6-1 dargestellten Maßnahmen ergibt sich eine Einsparung durch Wärmedämmmaßnahmen auf der Nutzenergieebene für das Szenario

---

<sup>3</sup> Die Emissionsfaktoren (Quelle: GEMIS 4.4) innerhalb der Szenarien spiegeln zum einen den Emissionsmix wider, der durch die Vorgaben der EE-Potenziale entsteht. Zum anderen ist jeweils eine moderate Entwicklung der Heizungsanlagen angenommen worden. Eine gesonderte Verschärfung auf der Seite der Anlagentechnik, -substitution sowie Abgaswerte usw. wurde nicht gesondert untersucht. Auf Grund der Verschiedenheit der Modellabgrenzungen und -annahmen von GEMIS im Vergleich zu den Berechnungen in Modul 2 auf Basis von ecoinvent-Daten kommt es zu Differenzen bei der Bilanzierung von spezifischen, indirekten Emissionsfaktoren. Eine Beurteilung der jeweiligen Gesamtemissionen kann ohne Berücksichtigung des jeweiligen Modellkontextes daher nicht vorgenommen werden.

MaRes *BAU* von 77 PJ bis zum Jahr 2020 sowie 315 PJ bis zum Jahr 2050. Dies entspricht einer Einsparquote von 17,2% für 2050. Insgesamt entsteht durch abgehende Abrisse und hinzukommende Neubauten eine Nutzenergieentwicklung von 1.797 PJ und 1.451 PJ für 2020/2050. Endenergetisch kommt es durch Substitutions- und Modernisierungseffekte von Heizungsanlagen zu einer Reduktion des Energieverbrauches von 15% und 35% in den Jahren 2020 und 2050.

Tab. 7-1: Entwicklung von Nutz- und Endenergie im Szenario *MaRes BAU*

Entwicklung der Raumwärmenachfrage - Energiebalance - Referenz-Szenario nach Prognos/EWI (MaRes)							
<b>Nutzenergieentwicklung in PJ</b>							
<b>Raumwärme</b>	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
ABL	1.696,0	1.653,6	1.620,0	1.587,0	1.482,2	1.315,3	1.132,8
NBL	137,8	129,2	124,6	114,9	103,4	87,3	58,5
Neubau	0,0	38,8	71,6	94,7	167,6	223,3	259,7
- davon Einsparung (PJ)		26,8	22,8	27,8	62,3	81,4	94,1
<b>Summe</b>	<b>1.833,8</b>	<b>1.821,6</b>	<b>1.816,1</b>	<b>1.796,6</b>	<b>1.753,2</b>	<b>1.625,9</b>	<b>1.451,0</b>
- darin: Abriss (PJ)		54,4	15,5	14,8	54,0	101,6	117,2
<b>Endenergieentwicklung in PJ</b>							
<b>Raumwärme</b>							
ABL	1985,6	1777,2	1704,6	1595,9	1446,7	1272,7	1053,7
NBL	147,3	143,7	134,8	117,7	104,4	85,4	56,3
Neubau	0,0	35,6	63,9	84,3	146,3	197,1	232,7
<b>Warmwasser</b>							
ABL	264,4	235,5	199,6	200,2	193,7	187,3	177,0
NBL	55,2	47,5	40,1	39,3	37,9	38,0	36,7
	319,5	282,9	239,7	239,5	231,6	225,3	213,6
<b>Summe</b>	<b>2.452,4</b>	<b>2.239,4</b>	<b>2.142,9</b>	<b>2.037,4</b>	<b>1.929,1</b>	<b>1.780,5</b>	<b>1.556,4</b>
<b>Endenergieentwicklung nach Energieträgern (Raumwärme und Warmwasser) im Szenario Referenz-Szenario nach Prognos/EWI (MaRes)</b>							
<b>PJ</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2040</b>	<b>2050</b>
Fernwärme (+REG-NW*)	161,5	163,9	166,1	165,9	143,1	150,6	158,0
Öl	943,0	838,0	799,8	739,5	575,8	470,4	347,2
Gas	989,0	1052,3	1007,0	962,3	1047,8	1026,6	931,5
Kohle	154,7	25,9	15,1	14,1	13,5	11,9	9,8
Strom	164,7	123,6	119,0	119,1	110,8	73,9	53,6
Solar (Einzel) *)	5,0	9,7	11,9	13,5	18,0	29,0	40,0
Biomasse (Einzel) *)	27,0	26,0	24,0	23,0	20,0	18,1	16,3
<b>Summe</b>	<b>2.444,9</b>	<b>2.239,4</b>	<b>2.142,9</b>	<b>2.037,4</b>	<b>1.929,1</b>	<b>1.780,5</b>	<b>1.556,4</b>
<b>Index</b>	<b>100%</b>	<b>92%</b>	<b>88%</b>	<b>83%</b>	<b>79%</b>	<b>73%</b>	<b>64%</b>

Quelle: Eigene Modellrechnungen

Im Bereich der Treibhausgas-Emissionen kommt es im Szenario *MaRes BAU* durch die Heizwärmereduktion und die Wirkungsgradverbesserung der Heizsysteme zu den Einsparungen von rund 24% im Jahr 2020 sowie 50% im Jahr 2050.

Die Analyse der jeweiligen Einspareffekte (Wärmedämmung, Effizienz) zeigt im zeitlichen Verlauf eine endenergie-orientierte Entwicklung, das heißt durch den Energiequotient zwischen CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzial und Energieverbrauch wird deutlich, dass die Eingriffe nach dem Jahr 2020 zu einer verstärkten Emissions- und Energiereduktion führen. Dadurch wird deutlich, dass Maßnahmen insbesondere zur Heizungsmodernisierung im Zeitraum 2020-2050 gegenüber einer konstanten wärmetechnischen Wohnraummodernisierung zum Tragen kommen.

Tab. 7-2: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Szenario *MaRes BAU* [in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten]

Emissionen	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
1.000 t							
Fernwärme	6.639,2	6.739,8	6.828,6	6.819,0	5.883,0	6.189,3	6.495,6
Öl	69.939,2	62.151,1	59.316,2	54.843,9	42.703,1	34.885,7	25.750,9
Gas	54.943,2	58.463,1	55.943,4	53.459,5	58.213,7	57.036,1	51.749,8
Kohle	15.042,4	2.518,7	1.471,1	1.375,0	1.317,0	1.153,0	957,4
Strom	43.976,0	29.496,4	28.389,8	28.423,9	26.440,6	16.344,8	10.998,8
Solar (Einzel) *)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Biomasse (Einzel) *)	277,5	267,2	246,7	236,3	205,6	186,2	167,1
<b>Summe</b>	<b>190.817,5</b>	<b>159.636,3</b>	<b>152.195,7</b>	<b>145.157,5</b>	<b>138.763,0</b>	<b>115.795,0</b>	<b>96.119,6</b>
	<b>100,0%</b>	<b>83,7%</b>	<b>79,8%</b>	<b>76,1%</b>	<b>72,7%</b>	<b>60,7%</b>	<b>50,4%</b>

Quelle: Eigene Modellrechnungen

In Tab. 7-3 sind die kostenseitigen Ergebnisse dargelegt, die durch die wärmetechnischen Maßnahmen im Szenario *MaRes BAU* verursacht worden sind (Kosten auf der Seite der Angebotsseite (Heizungsanlagen, Erneuerbare Energien) wurden nicht berücksichtigt). Der obere Teil spiegelt die Wärmereduktionen mit insgesamt 315 PJ an Nutzenergie durch Gebäudesanierungen im Altbaubestand (ohne Abrisse) wider, die zu Kosten von insgesamt 11,6 Mrd. Euro (Mehrkosten) erwirtschaftet worden sind.

Tab. 7-3: Entwicklung der Sanierungskosten im Szenario *MaRes BAU*

Entwicklung der wirtschaftlichen Kennzahlen im Gebäudebereich privater Haushalte - Szenario: Referenz-Szenario nach Prognos/EWI (MaRes)							
Einsparung in PJ durch Gebäudesanierungen**)	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
ABL		18,1	18,1	18,1	50,8	65,3	65,3
NBL		8,6	4,7	9,6	11,5	16,1	28,8
Summe		26,8	22,8	27,8	62,3	81,4	94,1
Mehrkosten in 1.000 €	2006 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	Summe
ABL	867.138	867.138	867.138	2.427.986	3.121.697	3.121.697	11.272.794
NBL	23.551	23.551	23.551	65.944	84.785	84.785	306.168
Summe	890.689	890.689	890.689	2.493.930	3.206.482	3.206.482	11.578.963
Einsparkosten (Gesamtsystem/Mehrkostenansatz) - Cent/kWh*)							Summe
ABL	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32
NBL	0,08	0,14	0,07	0,16	0,15	0,08	0,11
Summe	0,92	1,08	0,89	1,11	1,09	0,94	1,02
Barwerte in 1.000 €							
	2010	2015	2020	2030	2040	2050	
Abdiskontiert auf 2005	732.082	601.718	494.568	935.515	812.572	548.945	4.125.400
Annuitätische Jahreskosten in 1.000 € p.a.							24.679
*) Zins (real): % 4							
**) Sanierungsrate % p.a. 0,625 0,625 0,625 0,7777778 1 1							
Derzeitige Umsetzungsrate ca. 0,7% p.a.)							
Version: 1.02							© Wuppertal Institut, 2010

Quelle: Eigene Modellrechnungen

In den Kosten sind nur Maßnahmen berücksichtigt, die betriebswirtschaftlich bezogen auf die Einzeltechnik zu 4,7 ct/kWh<sub>Einsparung</sub> zu entstehen sind, das heißt jede Kilowattstunde, die eingespart werden konnte, liegt unterhalb eines „virtuellen“ Energiepreises. Diese Kostenmarge ist im Szenario *MaRes BAU* hinsichtlich der geforderten Wärmedämmstandards aber unterdurchschnittlich ausgeschöpft. So sind im Szenario *MaRes*



BAU Maßnahmen umgesetzt worden, die hinsichtlich ihrer Einsparung durchschnittlich 1,02 ct/kWh kosten. Im Vergleich zu den (derzeitigen) Brennstoffpreisen von etwa 6 ct/kWh zeigt sich das nicht ausgeschöpfte Potenzial von Wärmedämmmaßnahmen im Altbaubereich. Werden die Gesamtkosten mit einem Zinssatz von 4% annuitätisch auf das Jahr 2005 abdiskontiert, entstehen Jahreskosten von rund 25 Mio. Euro.

Tab. 7-4: Ergebnisse der Materialbilanzierung für das Szenario *MaRes BAU* für XPS

Ergebnisse der Materialbilanzierung				
Szenario:	MaRes BAU nach Prognos/EWI (MaRes) - XPS			
[ t ]	Eingesetztes Dämm-Material je Bauteil			
	DA	AW	KE	Summe
2010	65.206,9	95.780,8	129.817,8	290.805,5
2015	65.206,9	95.780,8	129.817,8	290.805,5
2020	65.206,9	95.780,8	129.817,8	290.805,5
2030	182.579,4	268.186,2	363.489,9	814.255,5
2040	234.745,0	344.810,8	467.344,2	1.046.899,9
2050	234.745,0	95.780,8	129.817,8	460.343,6
Umrechnung [von m <sup>3</sup> in Tonnen] bei einer durchschnittlichen Dichte (kg/m <sup>3</sup> ) von				30
<b>SUMME</b>				<b>3.193.946</b>

Anmerkung: DA – Dach; AW – Außenwand; KE – Kellerdecke

Quelle: Eigene Modellrechnungen

In der Tab. 7-4 sind die eingesetzten kumulierten Materialmengen bilanziert, die im Szenario *MaRes BAU* zum Tragen kommen. Im XPS-Sanierungsfall (das heißt einer mittleren Dichte von 30 kg/m<sup>3</sup>) werden rund 3,2 Mio. Tonnen Dämmmaterial verwendet. Bei gleichen Mengen in den Zeitreihen bedeutet dies, dass die Umsetzungsintensität und -qualität konstant über den Szenariozeitraum hinweg angenommen wurde.

### Szenario *MaRes Leit-Minus*

Durch die in Tab. 6-2 dargelegten Maßnahmen nimmt die absolute *Nutzenergie* im Szenario *MaRes Leit-Minus* in Höhe von 60 PJ (2020) sowie um 437 PJ (2050) auf 1.773 PJ (2020) beziehungsweise 1.397 PJ (2050) ab. Die Einsparung teilt sich auf in Abrisse in Höhe von 84 PJ (2020)/358 PJ(2050) sowie reine Einsparungen im verbleibenden Altbaubestand von 60 PJ (2020)/437 PJ (2050). Demgegenüber stehen Wohnraumaktivierungen durch Neubauten in Höhe von 205 PJ (2020) und 856 PJ (2050).

Die *Endenergie* entwickelt sich inklusive der Entwicklung des Warmwasserbedarfes dementsprechend von einem Anfangswert für 2005 von 2.452 PJ auf jeweils 1.904 PJ (2020) sowie 1.348 PJ (2050). Dies bedeutet eine Reduktion von 498 PJ (2020) und 1.024 PJ (2050) und entspricht einer Reduktionsquote von 21% (2020) und 45% (2050).

Tab. 7-5: Entwicklung von Nutz- und Endenergie im Szenario *MaRes Leit-Minus*

Entwicklung der Raumwärmenachfrage - Energiebalance - MaRes Leit-minus							
Nutzenergieentwicklung in PJ							
Raumwärme	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
ABL	1.696,0	1.646,4	1.605,4	1.565,2	1.445,9	1.271,8	1.082,0
NBL	137,8	128,8	123,7	113,7	101,3	84,8	55,5
Neubau	0,0	38,8	71,6	94,7	167,6	223,3	259,7
- davon Einsparung (PJ)		34,4	30,5	35,5	77,7	89,1	101,8
<b>Summe</b>	<b>1.833,8</b>	<b>1.813,9</b>	<b>1.800,8</b>	<b>1.773,5</b>	<b>1.714,8</b>	<b>1.579,8</b>	<b>1.397,2</b>
- darin: Abriss (PJ)		54,4	15,5	14,8	54,0	101,6	117,2
Endenergieentwicklung in PJ							
Raumwärme							
ABL	1985,6	1732,8	1592,9	1469,0	1302,7	1093,9	886,3
NBL	147,3	143,2	132,2	113,9	98,5	78,8	50,8
Neubau	0,0	40,5	71,1	92,0	154,0	196,3	222,5
Warmwasser							
ABL	264,4	232,8	188,5	188,4	179,1	166,9	153,3
NBL	55,2	50,4	41,8	40,8	38,6	37,3	34,7
	319,5	283,2	230,3	229,2	217,6	204,2	188,1
<b>Summe</b>	<b>2.452,4</b>	<b>2.199,8</b>	<b>2.026,5</b>	<b>1.904,0</b>	<b>1.772,8</b>	<b>1.573,1</b>	<b>1.347,7</b>

Anmerkung: \*) Enthält Anteile erneuerbarer Energien

Quelle: Eigene Modellrechnungen

In Tab. 7-6 ist die Entwicklung der *Treibhausgas-Emissionen* im Szenario *MaRes Leit-Minus* aufgezeigt. Zum einen kommen hier gegenüber dem Szenario *MaRes BAU* die Erhöhung der Umsetzungsraten, die Erhöhung der Sanierungsqualität der Bauteilerneuerungen sowie eine Loslösung von fossilen Energieträgern zu Gunsten erneuerbarer Energiequellen zum Tragen. Bei einer Halbierung des Nutzenergiebedarfes sowie einer Erhöhung der erneuerbaren Energien auf etwa 40% im Jahre 2050 kommt es zu einer Reduktion der Treibhausgase von 51%.



Tab. 7-6: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Szenario *MaRes Leit-Minus* [in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten]

<b>Emissionen</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2040</b>	<b>2050</b>
1.000 t							
Fernwärme	6.639,2	8.167,5	8.532,4	8.964,9	9.804,3	10.158,0	10.511,8
Öl	69.939,2	54.877,8	45.114,9	38.133,2	25.510,7	15.500,0	7.387,3
Gas	54.943,2	57.445,1	52.692,4	50.009,2	51.050,6	47.276,4	40.430,5
Kohle	15.042,4	2.000,6	1.025,3	945,8	390,8	85,7	71,0
Strom	43.976,0	35.779,2	44.866,2	45.064,3	42.743,7	37.800,9	33.583,1
Solar (Einzel) *)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Biomasse (Einzel) *)	277,5	525,2	589,2	640,7	684,3	643,7	604,4
<b>Summe</b>	<b>190.817,5</b>	<b>158.795,4</b>	<b>152.820,5</b>	<b>143.758,1</b>	<b>134.184,3</b>	<b>111.464,7</b>	<b>92.588,0</b>
	<b>100,0%</b>	<b>83,2%</b>	<b>80,1%</b>	<b>75,3%</b>	<b>70,3%</b>	<b>58,4%</b>	<b>48,5%</b>

Anmerkung: Enthält Energieträger aus erneuerbaren Energien

Quelle: Eigene Modellrechnungen

Die kostenseitigen Entwicklungen, die durch die wärmetechnischen Maßnahmen im Szenario *MaRes Leit-Minus* verursacht worden sind, werden in Tab. 7-7 dargestellt (Kosten auf der Angebotsseite wie Heizungsanlagen und erneuerbare Energien konnten in diesem Teil der Studie nicht abgeschätzt werden). Im oberen Teil lässt sich erkennen, dass insgesamt 369 PJ an Nutzenergie durch Gebäudesanierungen im Altbaubestand (ohne Abrisse) eingespart worden sind, die zu Kosten von insgesamt 14,1 Mrd. Euro (Mehrkosten) erwirtschaftet worden sind. In den Kosten sind nur Maßnahmen berücksichtigt, die bezogen auf die Einzeltechnik zu 6,7 ct/kWh zu entstehen sind, das heißt jede Kilowattstunde, die eingespart werden konnte, liegt unterhalb eines virtuellen Energiepreises dieser Wirtschaftlichkeitsgrenze.

Werden die Gesamtkosten mit einem Zinssatz von 4% annuitätisch auf das Jahr 2005 abdiskontiert, entstehen Jahreskosten von rund 31,6 Mio. Euro.

Die Tab. 7-8 zeigt die eingesetzten Materialmengen (XPS) im Szenario *MaRes Leit-Minus*. Gegenüber dem Szenario *MaRes BAU* steigt die Menge auf rund 4 Mio. Tonnen um rund 0,8 Mio. Tonnen oder 2,6% an.

Tab. 7-7: Entwicklung der wirtschaftlichen Kennzahlen im Szenario *MaRes Leit-Minus*

Entwicklung der wirtschaftlichen Kennzahlen im Gebäudebereich privater Haushalte - Szenario: MaRes Leit-minus								
Einsparung in PJ durch Gebäudesanierungen**) <div>2005201020152020203020402050Summe</div>								
ABL	25,4	25,4	25,4	65,3	72,6	72,6	286,6	
NBL	9,0	5,1	10,1	12,4	16,5	29,2	82,3	
Summe	34,4	30,5	35,5	77,7	89,1	101,8	368,9	
Mehrkosten in 1.000 C <div>2006 - 20102011 - 20152016 - 20202021 - 20302031 - 20402041 - 2050Summe</div>								
ABL	1.213.993	1.213.993	1.213.993	3.121.697	3.468.552	3.468.552	13.700.781	
NBL	32.972	32.972	32.972	84.785	94.206	94.206	372.112	
Summe	1.246.965	1.246.965	1.246.965	3.206.482	3.562.758	3.562.758	14.072.893	
Einsparkosten (Gesamtsystem/Mehrkostenansatz) - Cent/kWh*)							Summe	
ABL	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	
NBL	0,10	0,18	0,09	0,19	0,16	0,09	0,13	
Summe	1,00	1,13	0,97	1,14	1,11	0,97	1,06	
Barwerte in 1.000 C		2010	2015	2020	2030	2040	2050	
Abdiskontiert auf 2005		1.024.915	842.405	692.396	1.202.805	902.858	609.938	5.275.317
Annuitätische Jahreskoten in 1.000 C p.a.								31.558
*) Zins (real): %		4						
**) Sanierungsrate % p.a.		0,875	0,875	0,875	1,000	1,111	1,111	
Derzeitige Umsetzungsrate ca. 0,7% p.a.)								
Version: 2.02								
© Wuppertal Institut, 2010								

Quelle: Eigene Modellrechnungen

Tab. 7-8: Ergebnisse der Materialbilanzierung für das Szenario *MaRes Leit-Minus*

Ergebnisse der Materialbilanzierung					
Szenario: MaRes Leit-minus					
[ t ]	Eingesetztes Dämm-Material je Bauteil				Summe
	DA	AW	KE	FE	
2010	91.289,7	134.093,1	181.745,0		407.127,8
2015	91.289,7	134.093,1	181.745,0		407.127,8
2020	91.289,7	134.093,1	181.745,0		407.127,8
2030	234.745,0	344.810,8	467.344,2		1.046.899,9
2040	260.827,8	383.123,1	519.271,3		1.163.222,2
2050	260.827,8	134.093,1	181.745,0		576.665,8
Umrechnung [m <sup>3</sup> in Tonnen] bei einer durchschnittlichen Dichte (kg/m <sup>3</sup> ): 30					
© Wuppertal Insitut (Thomas Hanke), 2009					4.008.171

Anmerkung: DA – Dach; AW – Außenwand; KE - Kellerdecke

Quelle: Eigene Modellrechnungen

## Szenario *MaRes Leit*

Die *Nutzenergie-Einsparungen* im Szenario *MaRes Leit* sind durch die hohe Umsetzungsintensität (Standard der Wärmedämmung auf Passiv-Hausstandard) sowie durch den drastisch gesteigerten Umsetzungsumfang (Sanierungsanteil an der Gesamt-Wohnfläche bei annähernder Vollsanierung) auf 22% im Jahre 2020 sowie 66% der Gesamtwohnfläche im Jahre 2050 gesteigert worden.

Einen ebenso forcierenden Einspareffekt auf die Nutzenergie bewirkt das erhöhte Wirtschaftlichkeitsniveau von wärmetechnischen Maßnahmen gegenüber den anderen Szenarien. Im Szenario *MaRes Leit-Minus* sind alle Maßnahmen zum Einsatz gekommen, deren Einsparkosten von 4,7 ct/kWh, im Szenario *MaRes Leit* von 6,7 ct/kWh unterschreiten.

Tab. 7-9: Entwicklung von Nutz- und Endenergie im Szenario *MaRes Leit*

Entwicklung der Raumwärmenachfrage - Energiebalance - MaRes Leit							
Nutzenergieentwicklung in PJ							
Raumwärme	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
ABL	1.696,0	1.623,5	1.550,9	1.470,2	1.284,5	1.051,3	802,3
NBL	137,8	127,7	121,0	108,9	93,2	73,8	41,7
Neubau	0,0	28,6	45,6	58,3	94,1	122,0	142,2
- davon Einsparung (PJ)		58,4	63,7	78,0	147,4	151,1	163,8
<b>Summe</b>	<b>1.833,8</b>	<b>1.779,7</b>	<b>1.717,5</b>	<b>1.637,4</b>	<b>1.471,9</b>	<b>1.247,0</b>	<b>986,2</b>
- darin: Abriss (PJ)		54,4	15,5	14,8	54,0	101,6	117,2
Endenergieentwicklung in PJ							
Raumwärme							
ABL	1985,6	1715,1	1562,5	1406,5	1197,8	967,3	724,1
NBL	147,3	141,7	130,8	110,3	91,3	68,8	38,2
Neubau	0,0	30,1	44,2	61,4	95,9	120,4	137,5
Warmwasser							
ABL	264,4	231,2	189,8	190,9	182,5	174,4	164,3
NBL	55,2	47,0	39,4	38,3	36,2	35,7	33,2
	319,5	278,2	229,2	229,2	218,7	210,1	197,6
<b>Summe</b>	<b>2.452,4</b>	<b>2.165,1</b>	<b>1.966,6</b>	<b>1.807,4</b>	<b>1.603,7</b>	<b>1.366,6</b>	<b>1.097,5</b>
Endenergieentwicklung nach Energieträgern (Raumwärme und Warmwasser) im Szenario MaRes Leit							
PJ	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Fernwärme (+REG-NW*)	161,5	198,7	205,1	238,7	271,7	289,7	307,6
Öl	943,0	732,9	601,8	477,6	315,1	207,2	109,0
Gas	989,0	1020,3	927,2	845,9	785,4	634,9	450,2
Kohle	154,7	9,1	8,1	2,2	0,9	0,7	0,6
Strom	164,7	147,5	155,8	124,9	91,0	75,6	52,9
Solar (Einzel) *)	5,0	5,6	11,3	27,9	43,8	65,9	88,1
Biomasse (Einzel) *)	27,0	51,1	57,3	90,3	95,8	92,5	89,2
<b>Summe</b>	<b>2.444,9</b>	<b>2.165,1</b>	<b>1.966,6</b>	<b>1.807,4</b>	<b>1.603,7</b>	<b>1.366,6</b>	<b>1.097,5</b>
<b>Index</b>	<b>100%</b>	<b>89%</b>	<b>80%</b>	<b>74%</b>	<b>66%</b>	<b>56%</b>	<b>45%</b>

Anmerkung: \*) Enthält Energieträger aus erneuerbaren Energien

Quelle: Eigene Modellrechnungen

Die Endenergie entwickelt sich analog zur drastisch reduzierten Nutzenergie sowie durch die einhergehenden Modernisierung von Heizungsanlagen in ähnlicher Höhe. Im Jahr 2020 erreicht die Endenergienachfrage einen Wert von 1.807 PJ (inklusive Warmwasserbedarf), dies entspricht einer Reduktion von 25%. Im Jahre 2050, wo

letztendlich alle Maßnahmen voll zum Tragen kommen (siehe Tab. 6-3), wird noch insgesamt 1.097 PJ Endenergie nachgefragt. Dies entspricht einer Reduktion um 55%.

In Tab. 7-10 sind die Potenziale der erneuerbaren Energieträger für das Szenario *MaRes Leit* aufgezeigt. Der Deckungsbeitrag zur Endenergie ist exogen auf 14% gesetzt worden – die Verteilung der Energieträger ist den derzeitigen Entwicklungen harmonisch angepasst worden.

Tab. 7-10: Entwicklung der erneuerbaren Energien-Potenziale im Szenario *MaRes Leit*

<b>EE-Potentiale</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2040</b>	<b>2050</b>
Fernwärme	185,4	160,9	154,2	147,3	135,3	112,7	90,0
Objektversorgung	0,0	5,6	43,3	57,6	64,8	32,4	0,0
Biomasse (Einzel)	57,0	72,0	74,6	65,1	75,1	66,7	58,5
Solar(Einzel)	2,5	13,2	26,3	39,6	60,6	68,3	76,0
Solar(Nahwärme)	0,1	2,7	15,8	21,6	72,9	109,2	145,6
Geothermie	0,7	3,2	12,4	25,2	50,0	72,5	95,0
Biomasse (Nahwärme)	12,2	27,3	44,7	50,8	69,7	64,6	59,5
<b>Summe</b>	<b>257,9</b>	<b>284,9</b>	<b>371,3</b>	<b>407,2</b>	<b>528,3</b>	<b>526,5</b>	<b>524,7</b>
<b>Anteil EE-Pot. [%]</b>	<b>3%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>14%</b>	<b>26%</b>	<b>35%</b>	<b>52%</b>
Version High Potential 2.2					© Wuppertal Institut, 04.06.2008		

Quelle: Eigene Modellrechnungen

Die zuvor beschriebenen Maßnahmen zur Einsparung der Heizenergie führen zu drastischen Einsparungen bei den Treibhausgas-Emissionen. Im Jahr 2020 werden nur noch 62,2% und 2050 nur noch 14,8% des jeweiligen Anfangswertes von 195.240 t emittiert.

Tab. 7-11: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Szenario *MaRes Leit* [in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten]

<b>Emissionen</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2040</b>	<b>2050</b>
1.000 t							
Fernwärme	6.639,2	8.167,5	8.432,2	9.813,5	11.171,4	11.908,4	12.645,4
Öl	69.939,2	54.360,4	44.635,6	35.418,8	23.372,3	15.369,5	8.086,9
Gas	54.943,2	56.683,8	51.510,2	46.996,1	43.635,0	35.273,9	25.009,7
Kohle	15.042,4	881,4	783,6	210,3	86,5	70,8	54,0
Strom	43.976,0	35.187,6	37.184,4	29.801,8	21.703,2	16.721,4	10.858,3
Solar (Einzel) *)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Biomasse (Einzel) *)	277,5	525,2	589,2	928,1	984,2	950,3	916,5
<b>Summe</b>	<b>190.817,5</b>	<b>155.805,9</b>	<b>143.135,2</b>	<b>123.168,7</b>	<b>104.952,6</b>	<b>80.294,3</b>	<b>57.570,7</b>
	<b>100,0%</b>	<b>81,7%</b>	<b>75,0%</b>	<b>64,5%</b>	<b>55,0%</b>	<b>42,1%</b>	<b>30,2%</b>

Quelle: Eigene Modellrechnungen

Diese großen Einsparungen werden erzielbar durch eine konsequente Vermeidung von fossilen Energieträgern und eine forcierte wärmetechnische Wohnraum- und Heizungsmodernisierung. Wie im Vorfeld erläutert wurde, sind die nutzenergetischen Einsparpotenziale durch Einzelmaßnahmen erzielt worden, deren spezifische Einsparkosten weniger als 6,7 ct/kWh betragen. Die Wärmegestehungskosten durch den technologischen Einsatz der erneuerbaren Energieträger konnten im Rahmen dieser Szenarioanalyse nicht analysiert werden.

Tab. 7-12: Entwicklung der wirtschaftlichen Kenngrößen im Szenario *MaRes Leit*

Entwicklung der wirtschaftlichen Kennzahlen im Gebäudebereich privater Haushalte - Szenario: MaRes Leit								
Einsparung in PJ durch Gebäudesanierungen**)								
	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050	Summe
ABL		48,3	57,1	65,8	131,7	131,7	131,7	566,3
NBL		10,2	6,7	12,1	15,7	19,4	32,1	96,1
Summe		58,4	63,7	78,0	147,4	151,1	163,8	662,4

Mehrkosten in 1.000 €							
	2006 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	Summe
ABL	4.384.038	5.181.135	5.978.233	11.956.467	11.956.467	11.956.467	51.412.806
NBL	110.357	130.422	150.487	300.975	300.975	300.975	1.294.191
Summe	4.494.395	5.311.558	6.128.721	12.257.441	12.257.441	12.257.441	52.706.997

Einsparkosten (Gesamtsystem/Mehrkostenansatz) - Cent/kWh*)								Summe
ABL	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	
NBL	0,30	0,54	0,34	0,53	0,43	0,26	0,37	
Summe	2,13	2,31	2,18	2,30	2,25	2,07	2,20	

Barwerte in 1.000 €							
	2010	2015	2020	2030	2040	2050	
Abdiskontiert auf 2005	3.694.065	3.588.298	3.403.061	4.597.972	3.106.225	2.098.454	20.488.076
Annuitätische Jahreskosten in 1.000 € p.a.							122.562

\*) Zins (real): % 4

\*\*) Sanierungsrate % p.a. 1,38 1,63 1,88 1,67 1,67 1,67

Derzeitige Umsetzungsrate ca. 0,7% p.a.)

Version: 2.03

© Wuppertal Institut, 2010

Quelle: Eigene Modellrechnungen

In Tab. 7-12 sind die kostenseitigen Ergebnisse dargelegt, die durch die wärmetechnischen Maßnahmen im Szenario *MaRes Leit* verursacht worden sind. Kosten auf der Angebotsseite (Heizungsanlagen, erneuerbare Energien) konnten in diesem Teil der Studie nicht abgeschätzt werden. Im oberen Teil lässt sich erkennen, dass insgesamt 663 PJ an Nutzenergie durch Gebäudesanierungen im Altbaubestand (ohne Abrisse) eingespart worden ist, die zu Kosten von insgesamt 53 Mrd. Euro (Mehrkosten) entstanden sind.

Im Gegensatz zu den Szenarien *MaRes BAU* und *MaRes Leit-Minus* verfolgt das Szenario *MaRes Leit* das so genannte *Kopplungsprinzip*, das besagt, dass preiswerte Maßnahmen unterhalb der Wirtschaftlichkeitsgrenze teurere Maßnahmen mit finanzieren. Dabei werden auch Einzelmaßnahmen in die Sanierungsstrategie einbezogen, die oberhalb des „virtuellen“ Energiepreises von 6,7 ct/kWh<sub>Einsparung</sub> liegen, deren Gesamtkosten aller Maßnahmen je Gebäudetyp jedoch unterhalb dieser Wirtschaftlichkeitsgrenze liegen.

Werden die Gesamtkosten mit einem Zinssatz von 4% annuitätisch auf das Jahr 2005 abdiskontiert, entstehen Jahreskosten von rund 123 Mio. Euro.

Tab. 7-13 zeigt die Materialbilanzierung des eingesetzten Dämmstoffes im Szenario *MaRes Leit*. Durch die sehr angezogene Umsetzungsintensität der Sanierungsmaßnahmen von jährlich 0,7% auf 1,5% der Wohnfläche steigt die XPS-Materialmenge auf insgesamt 15,9 Mio. Tonnen Dämmstoff an. Dies bedeutet eine Steigerung von 4 Mio. Tonnen im Szenario *MaRes Leit-Minus* um fast 11 Mio. Tonnen. Demgegenüber steht aber eine weitere CO<sub>2</sub>-Reduktion von weiteren 18%.

Tab. 7-13: Ergebnisse der Materialbilanzierung im Szenario *MaRes Leit*

Ergebnisse der Materialbilanzierung				
Szenario:	MaRes Leit			
[ t ]	Eingesetztes Dämm-Material je Bauteil			Summe
	DA	AW	KE	
2010	324.368,3	594.023,2	616.418,3	1.534.809,8
2015	383.344,4	702.027,4	728.494,4	1.813.866,2
2020	442.320,4	810.031,7	840.570,5	2.092.922,5
2030	884.640,8	1.620.063,3	1.681.140,9	4.185.845,0
2040	884.640,8	1.620.063,3	1.681.140,9	4.185.845,0
2050	884.640,8	594.023,2	616.418,3	2.095.082,4
Umrechnung [m3 in Tonnen] bei einer durchschnittlichen Dichte (kg/m3) von 37				
© Wuppertal Institut (Thomas Hanke), 2009				<b>15.908.371</b>

Anmerkung: DA – Dach; AW – Außenwand; KE - Kellerdecke

Quelle: Eigene Modellrechnungen

### Szenario *MaRes Leit-Plus*

Die Maßnahmen im Szenario *MaRes Leit-Plus* führen zu einer Mehreinsparung gegenüber dem Szenario *MaRes Leit* von rund 390 PJ oder weiteren 17 Prozentpunkten. Die Endenergie beläuft sich somit auf 702 PJ im Jahre 2050.

Bis zum Jahr 2020 werden durch den erweiterten Einsatz von erneuerbaren Energien (hier als Beispiel die Übertragung der Potentiale aus dem Effizienz-Szenario) ca. 6 – 7% der Treibhausgas-Emissionen gegenüber dem Szenario *MaRes Leit* eingespart, bis zum Jahr 2050 sogar rund 13%. Dies liegt einerseits an der konsequenten Vermeidung fossiler Energieträger zu Gunsten CO<sub>2</sub>-ärmeren Energiequellen, zum anderen werden durch die in den Markt drängenden neuen Energieträger zunehmend ebenso neue Heizungsanlagen und -konzepte eingeführt, die einen höheren Wirkungsgrad als die Altanlagen haben.



Tab. 7-14: Entwicklung von Nutz- und Endenergie in der Variantenrechnung des Szenarios *MaRes Leit-Plus*

Entwicklung der Raumwärmenachfrage - MaRes Leit plus							
Nutzenergieentwicklung in PJ							
Raumwärme	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
ABL	1.696,0	1.572,7	1.449,0	1.326,1	1.055,9	756,1	420,2
NBL	137,8	125,0	115,7	101,3	81,2	58,4	23,8
Neubau	0,0	28,6	44,1	55,6	91,0	118,8	139,1
- davon Einsparung (PJ)		111,9	117,5	122,4	236,3	221,1	214,8
<b>Summe</b>	<b>1.833,8</b>	<b>1.726,2</b>	<b>1.608,7</b>	<b>1.483,0</b>	<b>1.228,1</b>	<b>933,3</b>	<b>583,1</b>
- darin: Abriss (PJ)		54,4	15,5	14,8	54,0	101,6	117,2
Endenergieentwicklung in PJ							
Raumwärme							
ABL	1985,6	1659,7	1459,2	1267,3	983,0	689,4	381,2
NBL	147,3	138,4	124,7	102,4	79,3	53,8	21,1
Neubau	0,0	28,7	44,0	60,3	95,1	120,7	139,4
Warmwasser							
ABL	264,4	225,4	175,8	166,2	0,7	0,5	130,7
NBL	55,2	50,3	40,0	39,0	35,6	34,7	29,5
	319,5	275,7	215,8	205,2	36,3	35,1	160,2
<b>Summe</b>	<b>2.452,4</b>	<b>2.102,5</b>	<b>1.843,8</b>	<b>1.635,2</b>	<b>1.193,7</b>	<b>899,0</b>	<b>701,8</b>
Endenergieentwicklung nach Energieträgern (Raumwärme und Warmwasser) im Szenario MaRes Leit plus							
PJ	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Fernwärme (+REG-NW*)	161,5	198,7	207,5	247,7	280,8	303,3	325,8
Öl	943,0	690,6	553,4	406,0	227,6	96,0	17,2
Gas	989,0	1005,9	863,0	752,7	628,2	443,2	175,2
Kohle	154,7	8,8	7,6	2,0	0,7	0,5	0,0
Strom	164,7	141,9	148,7	121,1	80,0	56,8	31,6
Solar (Einzel) *)	5,0	5,6	6,3	15,5	31,3	47,1	62,9
Biomasse (Einzel) *)	27,0	51,1	57,3	90,3	95,8	92,4	89,2
<b>Summe</b>	<b>2.444,9</b>	<b>2.102,5</b>	<b>1.843,8</b>	<b>1.635,2</b>	<b>1.344,3</b>	<b>1.039,3</b>	<b>701,8</b>
<b>Index</b>	<b>100%</b>	<b>86%</b>	<b>75%</b>	<b>67%</b>	<b>55%</b>	<b>43%</b>	<b>29%</b>

Anmerkung: \*) Anteile enthält Energieträger aus erneuerbaren Energien

Quelle: Eigene Modellrechnungen

Aus Tab. 7-15 wird ersichtlich, dass im Jahr 2020 rund 41% der Treibhausgas-Emissionen und bis zum Jahr 2050 sogar 83% oder rund 160.000 t eingespart werden. Damit konnte der System-Emissionsfaktor von durchschnittlich 285 g/kWh auf nur 160 g/kWh gesenkt werden.

Tab. 7-15: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Szenario *MaRes Leit-Plus* [in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten]

Emissionen	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
1.000 t							
Fernwärme	6.639,2	8.167,5	8.532,4	10.181,2	11.543,0	12.467,7	13.392,4
Öl	69.939,2	51.219,5	41.041,4	30.113,6	16.877,5	7.121,7	1.276,6
Gas	54.943,2	55.882,6	47.942,7	41.815,2	34.897,7	24.624,6	9.732,1
Kohle	15.042,4	856,4	735,5	192,9	71,1	50,9	0,0
Strom	43.976,0	33.855,5	35.489,9	28.901,3	19.085,7	12.549,6	6.490,4
Solar (Einzel) *)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Biomasse (Einzel) *)	277,5	525,2	589,2	927,7	984,2	949,4	916,5
<b>Summe</b>	<b>190.817,5</b>	<b>150.506,7</b>	<b>134.331,2</b>	<b>112.131,9</b>	<b>87.459,2</b>	<b>57.764,0</b>	<b>31.808,0</b>
	<b>100,0%</b>	<b>78,9%</b>	<b>70,4%</b>	<b>58,8%</b>	<b>45,8%</b>	<b>30,3%</b>	<b>16,7%</b>

Quelle: Eigene Modellrechnungen

Tab. 7-16 illustriert die Ergebnisse der Materialbilanzierung im Szenario *MaRes Leit-Plus*. Der drastische Materialmehrbedarf kommt zustande durch die (fast) ausgeschöpfte Umsetzungsintensität der Wärmeschutzmaßnahmen sowie die höhere Dichte der Materialeigenschaft von  $37 \text{ kg/m}^3$ , um die Wärmeschutz-Anforderungen (U-Werte) zu erreichen. Dem gegenüber steht eine Nutzwärmeeinsparung von 1.024 PJ, was einer Reduktion der benötigten Heizenergie von fast 68% bedeutet. Demgegenüber erreichte das Szenario *MaRes Leit* eine absolute Heizenergie-Einsparung von 847 PJ beziehungsweise 46% der Heizenergie.

Tab. 7-16: Ergebnisse der Materialbilanzierung im Szenario *MaRes Leit-Plus*

Ergebnisse der Materialbilanzierung für XPS				
Szenario:	MARESS LEIT PLUS			
	Eingesetztes Dämm-Material je Bauteil			
[ t ]	DA	AW	KE	Summe
2010	1.474.401,4	2.227.587,0	1.531.391,2	5.233.379,6
2015	1.608.437,9	2.430.095,0	1.670.608,6	5.709.141,4
2020	1.608.437,9	2.430.095,0	1.670.608,6	5.709.141,4
2030	3.216.875,7	4.860.189,9	3.341.217,2	11.418.282,8
2040	2.948.802,8	4.455.174,1	3.062.782,4	10.466.759,3
2050	2.680.729,8	4.050.158,3	2.784.347,7	9.515.235,7
XPS-Umrechnung [m3 in Tonnen] bei einer durchschnittlichen Dichte (kg/m/m3) von 37				
© Wuppertal Insitut (Thomas Hanke), 2009				48.051.940

Anmerkung: DA – Dach; AW – Außenwand; KE - Kellerdecke

Quelle: Eigene Modellrechnungen

### 7.1.2 Szenarienvergleich

Um die Entwicklungen in den einzelnen Szenarien folgerichtig zu interpretieren, sind die nachstehenden – teilweise sich gegenseitig aufhebenden – Teilentwicklungen zu unterscheiden. Die Pfeile geben eine Absenkung oder einen Anstieg der Nutzenergienachfrage an:

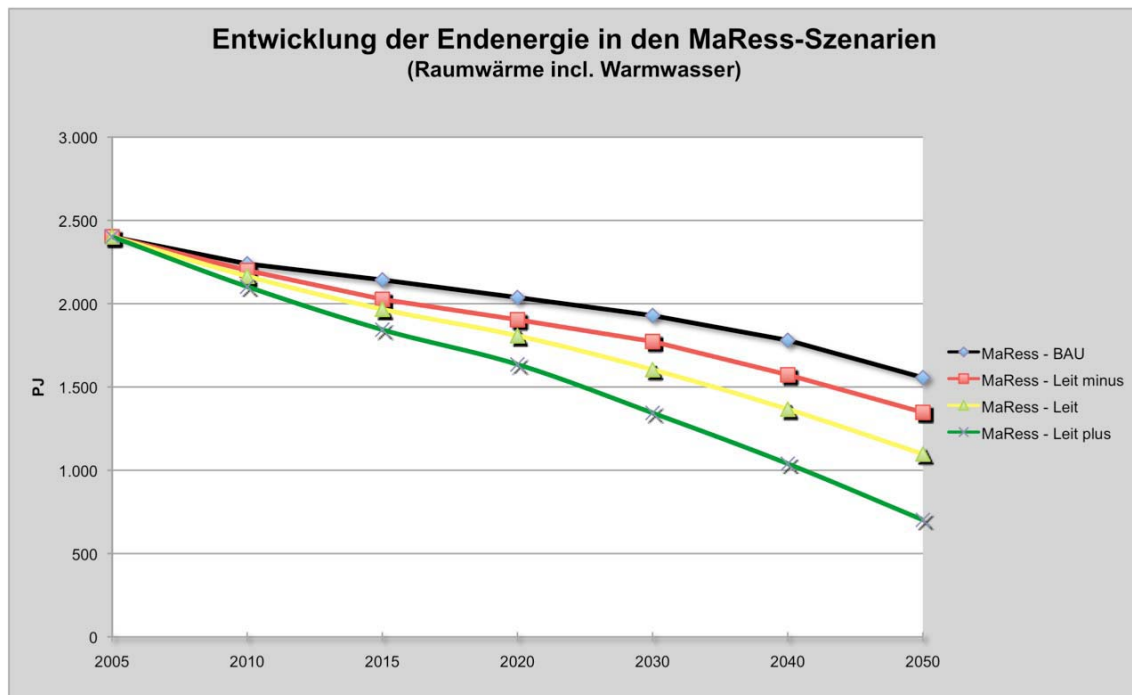


- ➊ Der *Abriss* im Altbaubestand senkt die erforderliche Nutzenergienachfrage zum Zeitpunkt des Basisjahres (2005), das heißt jedes Gebäude, das aus dem Bestand entnommen wird, wird im unsanierten Zustand abgerissen.
- ➋ Die *Sanierung* des Altbaubestandes senkt die erforderliche Nutzenergienachfrage im Zeitpunkt des Bilanz- oder Stützjahres.
- ➌ Der *Neubau* steigert die erforderliche Nutzenergienachfrage durch die hinzukommende Wohnflächenentwicklung.
- ➍ Die sinkende *Bevölkerungsentwicklung* senkt die Nutzenergienachfrage pro Person. Bei sinkenden Haushaltsgrößen, aber gleich bleibenden beziehungsweise steigenden Wohnflächen durch den Anstieg des Komfortanspruches entsteht somit ein (über-)kompensierender Effekt.
- ➎ Durch die *Substitution* von Einzelraum- beziehungsweise Etagenheizungen durch Zentralheizungen steigt der so genannte *Benutzungsumfang*. Das heißt durch den steigenden Komfortanspruch werden nicht mehr bedarfsorientiert Räume einer Wohnung geheizt, sondern in der Regel alle Räume gleichermaßen. Dadurch steigt die Endenergienachfrage trotz verbessertem Wirkungsgrad der Heizungsanlage.
- ➏ Durch die Erneuerung und Substitution von Heizungsanlagen werden in der Regel deutlich verbesserte *Wirkungsgrade* erzielt, mit der Folge einer Endenergieeinsparung.

Anmerkung: ➊ erhöhende Wirkung; ➋ vermindernde Wirkung

Wie die Entwicklung der Emissionen in Abb. 7-2 verdeutlicht, führt der Business-as-usual Pfad zu einer Verringerung der Treibhausgas-Emissionen im Jahre 2020 von 24% sowie im Jahre 2050 zu einer Verringerung von 50% zur Basis 2005. Abb. 7-1 zeigt die entsprechende Endenergieentwicklung mit einer Reduktion von 15% (2020) und 35% (2050).

Werden die Maßnahmen auf der Nutzenergieebene soweit verstärkt, dass der Umsetzungsgrad (Sanierungstätigkeit) sowie ein verstärkter Einsatz der erneuerbaren Energien im Leit-Szenario vorangetrieben wird, lässt sich weitere Energie einsparen, und zwar bis zum Jahre 2020 um 10%, was einer Treibhausgas-Reduzierung von 11% entspricht, und bis zum Jahr 2050 19% Endenergie bei 20%iger Einsparung der Treibhausgase.

Abb. 7-1: Vergleich der Endenergienachfrage in den MaRes-Szenarien *BAU*, *Leit-Minus*, *Leit* und *Leit-Plus* für Raumwärme und Warmwasser bis zum Jahr 2050

Quelle: Eigene Modellrechnungen

Im Szenario *MaRes Leit-Plus* kommen weitere flankierende strukturverändernde Maßnahmen zur Geltung, was sich in der Relation der Emissionsreduktion (Reduzierung um weitere 13% auf 17% gegenüber dem Szenario *MaRes Leit*) sowie energetisch (Reduktion um weitere 17% auf nun 29% im Jahr 2050) ausdrückt.

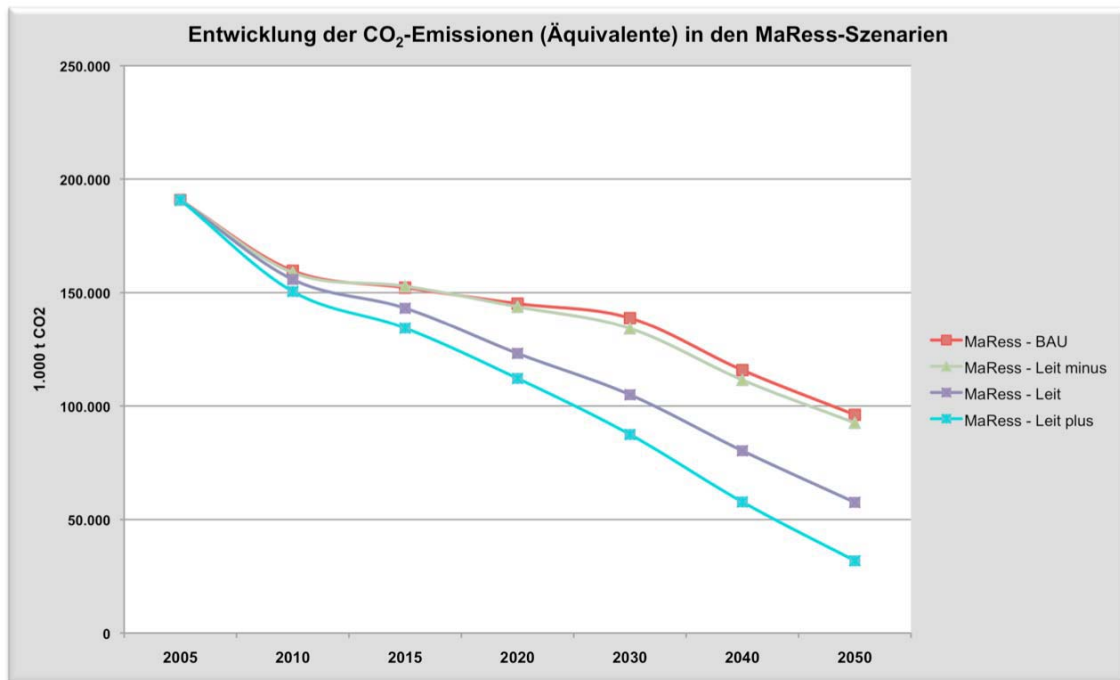
Stellt man die Einsparungen (von Energie und Emissionen) der beiden Szenarien *MaRes BAU* und *MaRes Leit* gegenüber, wird deutlich, dass ein verstärkter Einsatz von erneuerbaren Energien zu einem überproportionalen Sprung bei der Einsparung von Emissionen führt.

Im Szenario *MaRes Leit-Plus* wirkt sich die Sanierungsqualität (stufenweise Verschärfung der Altbausanierung auf Passivhausstandard) besonders auf den Nutzenergiebedarf aus, so dass ein gleichmäßiger Verlauf von Nutzenergie-, Endenergie- und Emissionsreduktion in Verbindung mit dem Einsatz erneuerbarer Energien entsteht. Die forcierte Einsparstrategie im Szenario *MaRes Leit-Plus* führt nutzerenergetisch zu einer Einsparung von 1.250 PJ und einer endenergetischen Einsparung von ca. 1.700 PJ oder 70%; emissionsseitig bedeutet dies eine Reduktion von 83%.

Werden zusätzliche Maßnahmen durch Erhöhung der Anteile der erneuerbaren Energien, wie im Szenario *MaRes Leit-Plus*, vorgenommen, können weitere Einsparungen auf der Seite der Endenergie (bei gleichem Nutzenergieniveau) erzielt werden. In dem Fall des Szenarios *MaRes Leit-Plus* sinkt der Endenergieverbrauch um weitere 4 Prozentpunkte auf 738 PJ im Jahre 2050. Diese Reduktion ist vor allem durch eine stärker-

re Substitutionserhöhung von Heizungsanlagen im Altbaubestand (und deren Wirkungsgraderhöhung) zurückzuführen.

Abb. 7-2: Vergleich der Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen in den MaRes-Szenarien *BAU*, *Leit-Minus*, *Leit* und *Leit-Plus* für die Raumwärme und Warmwasser bis zum Jahr 2050

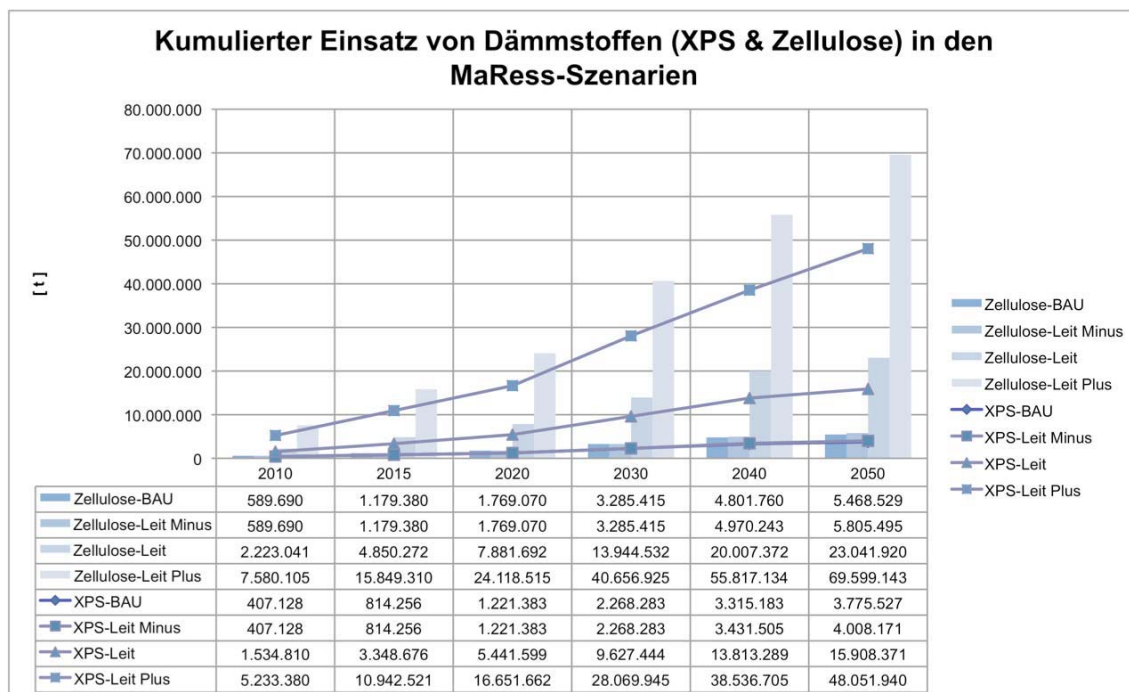


Quelle: Eigene Modellrechnungen

Über die reinen quantitativen Einsparungseffekte von Energie und Emissionen hinaus entstehen durch eine der Substitution neuerer Heizungsanlagen vorgeschaltete Sanierungsstrategie auch Wirkungen auf einer sekundären Ebene.

Ein für den Einsatz von erneuerbaren Energien sowie deren in Verbindung stehenden Heizungstechnologien zusätzlich günstiger Effekt entsteht durch die drastische *Reduzierung der inneren Wärmelasten*. Somit können so genannte KfW-40-Häuser (oder besser) mit Vorlauftemperaturen von unter 40°C betrieben werden, die einen Einsatz und damit einen zusätzlichen verzahnenden Effekt von Effizienz und Erneuerbaren begünstigen. Weiterhin ist anzumerken, dass eine integrative forcierte Verzahnungsstrategie die Einbindung von erneuerbaren Energien und deren Heizungstechnologien von der industriellen Vorfertigung (zum Beispiel Gestaltung von Dachelementen) bis hin zur Baustellenorganisation hat.

Abschließend ist in Abb. 7-3 die Entwicklung der in den MaRes-Szenarien eingesetzten direkten Dämmstoffmengen bei gleicher Dämmstoffwirkung (U-Wert) bilanziert. Wie erkennbar ist, wird je mehr XPS (dargestellt als durchgezogene Linie) benötigt, je anspruchsvoller die Sanierungsvorgaben der vier Szenarien sind.

Abb. 7-3: Kumulierter Einsatz von Dämmstoffen (XPS und Zellulose) in den MaRes- Szenarien *MaRes BAU*, *MaRes Leit-Minus*, *MaRes Leit* und *MaRes Leit-Plus*

Quelle: Eigene Modellrechnungen

### 7.1.3 Variation der Dämmstoffe (XPS versus Zellulose)

Zum Ende des Szenarios *MaRes Leit-Plus* im Jahr 2050 ist der jährliche nutzerenergetische Heizenergiebedarf um ca. 1.024 PJ Heizenergie durch Wärmedämm-Maßnahmen reduziert worden. Während die ersten drei Szenarien mit dem Dämmmaterial XPS modelliert worden sind, wurde bei diesem Szenario zu Vergleichszwecken zusätzlich das Material Zellulose eingesetzt (siehe Kapitel 5.4.3). Die dafür erforderlichen Mengen an Dämmmaterial zeigt ebenfalls Abb. 7-3. Beide Varianten, XPS und Zellulose, sind von den Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) so angesetzt worden, dass sie demselben Wärmedämmstandard für das jeweilige Bauteil entsprechen. Der Materialmehrerbrauch für Zellulose erklärt sich dadurch, dass XPS eine wesentliche geringere Dichte ( $37 \text{ kg/m}^3$ ) im Vergleich zu Zellulose ( $55 \text{ kg/m}^3$ ) aufweist.

## 7.2 Ökobilanz-Ergebnisse

Die Darstellungen der Ökobilanz-Ergebnisse beziehen sich auf das Residuum an Emissionen beziehungsweise Umweltwirkungen des Untersuchungssystems (Kombination der Gebäudebeheizung und -dämmung) im Betrachtungszeitraum von 2005 bis 2050 – nach Anrechnung der für das jeweilige Szenario maßgeblichen Effekte (zum Beispiel energetische Sanierung, sinkende Endenergiebedarfe, steigende Anteile Erneuerbarer Energiequellen für die Gebäudeversorgung mit Heizenergie). Die Ergebnisse werden an Hand zwei verschiedener Abbildungstypen erläutert:

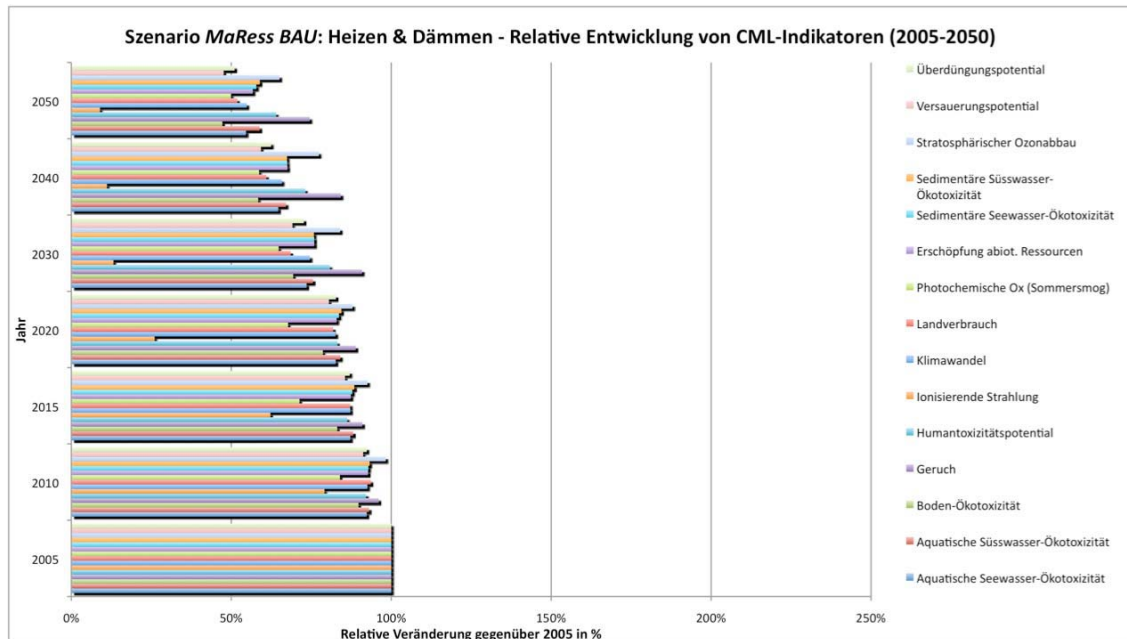
- Übersicht der relativen Entwicklung aller Indikatoren des Sets „CML 2001“ (siehe Kapitel 3.3) im Vergleich zum Basisjahr zur Abschätzung genereller Trends
- absolute Entwicklung einzelner Indikatoren, differenziert nach Verursacherguppen (regenerative Nahwärme- und konventionelle Fernwärmeversorgung, elektrische, solare, biomasse-befeuerte und fossile Heizungen sowie Dämmstoffe) zur näheren Analyse der Verursacher einer Ab- oder Zunahme von Indikatorwerten im Zeitverlauf

Während die Übersicht der relativen Entwicklung für jedes Szenario abgebildet wird, können aus der Vielzahl von Beschreibungen der Einzelindikatoren nur einige wenige Diagramme beispielhaft ausgewählt werden. Im Fokus steht dabei auf Grund seiner hohen gesellschaftlichen Relevanz das Treibhauspotenzial. Dieses wird je nach Szenario durch Abbildungen weiterer Indikatoren ergänzt, die etwa Aufschluss über die Verursacher von Trade-off Effekten geben.

Für die Berechnungen war es erforderlich, für jede Technologiekatgorie aus *HEAT* einen Referenzprozess zu wählen, der stellvertretend für vergleichbare Technologien steht, die aber möglicherweise abweichende Spezifikationen oder Vorketten aufweisen. So ist beispielsweise der Landverbrauch durch die Bereitstellung von Strom und Wärme über ein Biogas-BHKW sehr von der jeweiligen Anlagenauslegung und der Substratwahl (etwa Gülle oder nachwachsende Rohstoffe) abhängig. Die folgenden Ergebnisse können deshalb nur grobe Abschätzungen der Umweltwirkungen sein, die sich im Zusammenspiel der energetischen Sanierung und der Nutzung verschiedener Heizungstechnologien auf der Makroebene ergeben könnten. Da die Entwicklung einzelner Indikatoren sehr von der jeweils im Stoffstrommodell angenommenen Referenztechnologie abhängen kann, sind die Ergebnisse nicht geeignet, um direkte Rückschlüsse auf die Beiträge bestimmter Produkte oder Technologien zur Reduktion definierter Emissionen auf der Mikroebene zu ziehen oder vergleichende Aussagen zu Produkten zu tätigen. Hierfür ist eine zusätzliche Detailanalyse erforderlich, die im Rahmen dieser Untersuchung auf Grund der Vielzahl möglicher Technologien nicht durchführbar ist und deshalb durch pauschale Annahmen ersetzt wurde.

### **Szenario *MaRess BAU***

Ein Vergleich der relativen Entwicklungen aller im Szenario *MaRess BAU* betrachteten emissionsbedingten potenziellen Umweltwirkungen ist in Abb. 7-4 dargestellt. Als deutlich erkennbarer Trend ist hier ein kontinuierlicher, aber nur moderater Rückgang aller betrachteten CML-Indikatoren um jeweils etwa 30-50% bis 2050 im Vergleich zu 2005 zu erkennen.

Abb. 7-4: Relative Entwicklung von CML-Indikatoren im Szenario *MaRes BAU*

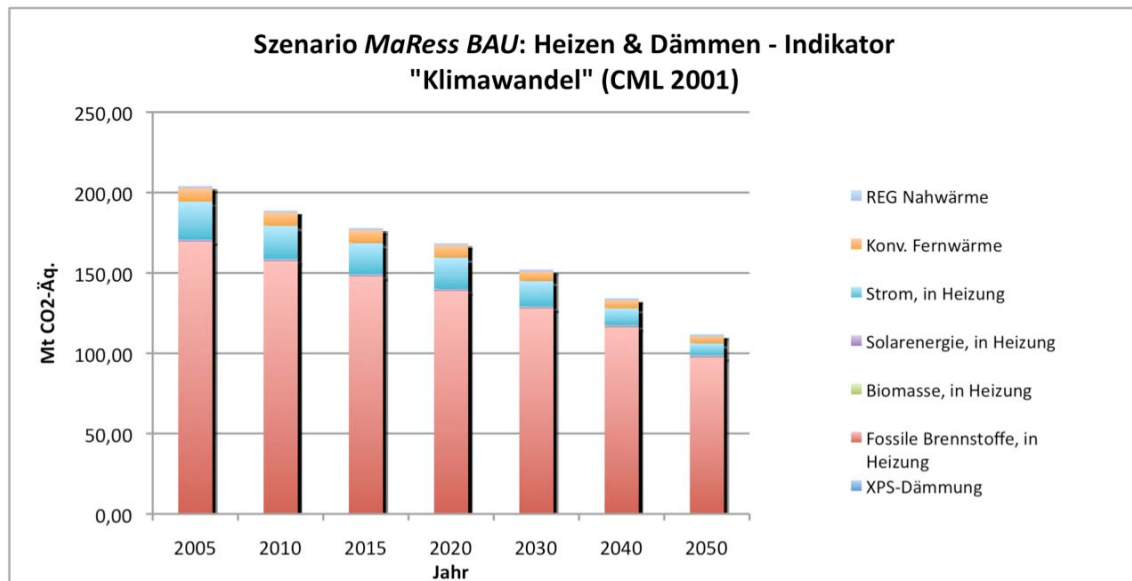
Quelle: Eigene Modellrechnungen

Ein drastischer Rückgang auf nur etwa 10% des Basiswerts schon bis 2030 ist nur im Fall des Indikators „Ionisierende Strahlung“ zu erkennen. Diese Entwicklung ist darin begründet, dass im Strommix für den direkten Strombezug der betrachteten Prozesse ab dem Stützjahr 2030 keine Atomenergie mehr enthalten ist. Um den Modellierungsaufwand zu begrenzen, wurde in den Vorketten der Prozesse benötigte elektrische Energie (etwa zur Herstellung eines Heizkessels) dagegen nicht durch einem variablen Mix dargestellt, sondern durch implizite Annahmen zum Strombezug aus einem konstanten Mix mit Kernenergie-Anteil. Die spezifischen Strommengen solcher vorgelagerter Prozesse (je kg Dämmstoff oder je MJ Heizenergie-Nutzung) sind im Vergleich zum direkten Bedarf in der Herstellung oder Nutzung des Endprodukts zwar meist gering, sind in der Auswertung aber an einem geringen Residuum des Indikators „Ionisierende Strahlung“ auch nach 2020 zu erkennen. Die zum Atomausstieg getroffene Annahme gilt gleichermaßen für alle Szenarien, weshalb die Tendenz der Entwicklung des Indikators szenarioübergreifend beobachtet werden kann.

Die Beiträge des XPS zu den verschiedenen Wirkungskategorien sind dabei auf Grund niedriger Tonnagen nur sehr gering. Sie liegen beispielsweise im Fall des von der Nutzung fossiler Heizenergieträger dominierten Indikators „Klimawandel“ im Bereich zwischen minimal 199 und maximal 455 kt und sind deshalb in der beispielhaften Abbildung der absoluten Werte dieses Indikators in Abb. 7-5 nicht erkennbar.



Abb. 7-5: Absolute Entwicklung des CML-Indikators „Klimawandel“ im Szenario *MaRes BAU*

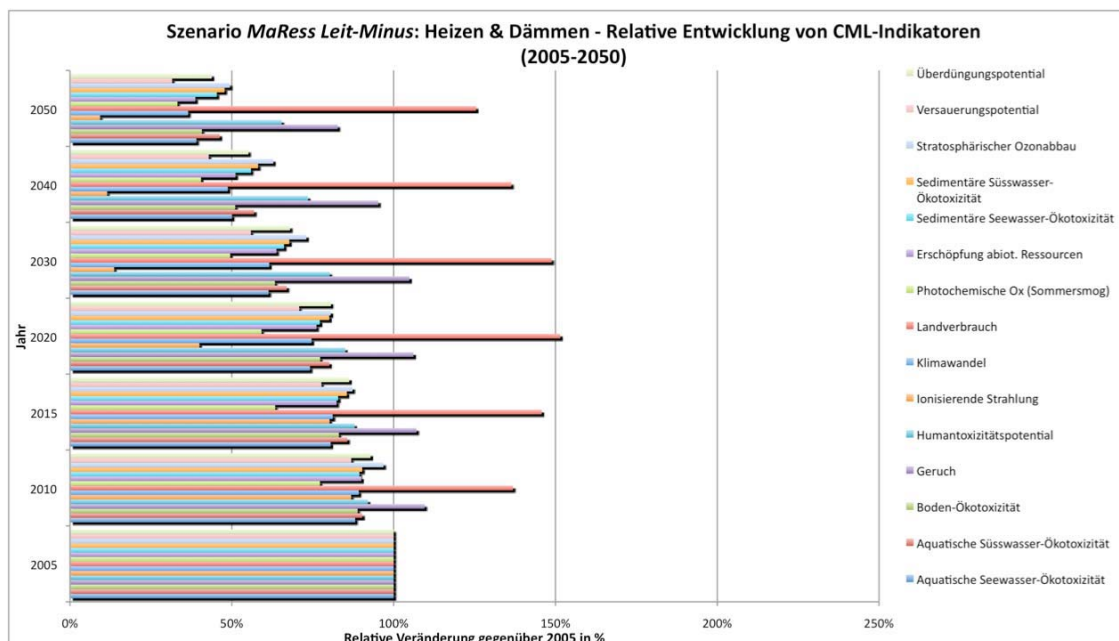


Quelle: Eigene Modellrechnungen

Zwischen den verschiedenen Umweltwirkungen, die vom CML-Indikatorenset erfasst werden, sind im Szenario *MaRes BAU* keine Trade-offs erkennbar – es findet also kein Rückgang eines Indikators auf Kosten der Zunahme eines anderen statt.

### Szenario *MaRes Leit-Minus*

Abb. 7-6 zeigt die relative Entwicklung des CML-Indikatorensets im Szenario *MaRes Leit-Minus*. Erkennbar ist dabei ein im Vergleich zu *MaRes BAU* wesentlich stärkerer Rückgang eines Großteils der Indikatoren um 50-70% bis 2050 gegenüber 2005.

Abb. 7-6: Relative Entwicklung von CML-Indikatoren im Szenario *MaRes Leit-Minus*

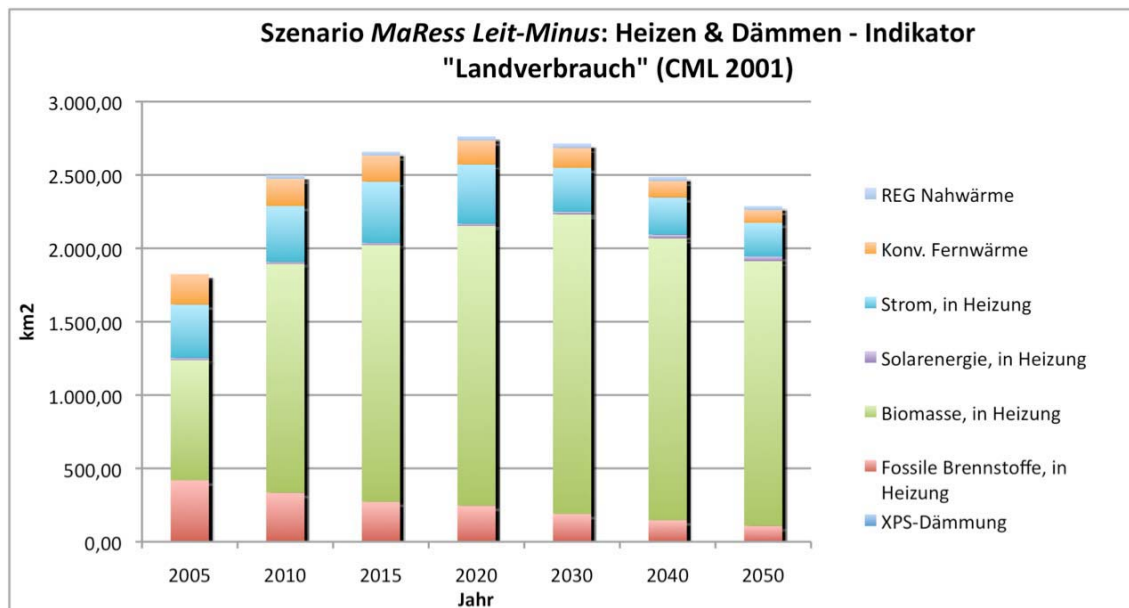
Quelle: Eigene Modellrechnungen

Im Gegensatz zum Szenario *MaRes BAU* sind hier allerdings Trade-off Effekte zwischen unterschiedlichen Umweltwirkungen erkennbar: Der Bezug von elektrischer Heizenergie, in geringem Umfang aber auch die verstärkte Nutzung von Solarthermie und Biomasse, verursachen nur geringe Rebound-Effekte, die den Rückgang des Indikators „Humantoxizitätspotenzial“ leicht verlangsamen. Die verstärkte Biomassenutzung kann sich dabei auf die Feinstaub-Belastung auswirken, die hier aber nicht separat erfasst wird, sondern ein Bestandteil des Indikators „Humantoxizitätspotenzial“ ist.

Der von fossilen Brennstoffen dominierte Indikator „Geruch“ steigt durch zunehmende Biomasse-Anteile im Strommix und regenerative Nahwärme zunächst über den Wert des Basisjahrs, sinkt bis 2050 aber durch die Einsparung fossiler Heizenergie darunter ab. Der „Landverbrauch“ liegt dagegen durch die Nutzung von Biomasse in Pellet- und Stückholz-Heizungen im Jahr 2050 als einziger Indikator des Szenarios über dem Basiswert von 2005; er steigt zwischenzeitlich in den Jahren 2020 und 2030 auf 150% des Basiswerts an. Diese Entwicklung ist jedoch unabhängig von Effizienzmaßnahmen zu sehen, da sie auf Szenario-Annahmen zur Deckung des restlichen Wärmebedarfs durch erneuerbare Energien zurück geht. Da bei steigendem Bedarf nach forstlicher Biomasse und begrenztem inländischen Potenzial vermehrt Nutzungskonkurrenzen mit stofflichen Verwendungen und steigende Importabhängigkeiten zu erwarten sind, sollte das Leitszenario des BMU auf der Basis einen umfassenden Biomassekonzepts und unter Würdigung der in- und ausländischen Flächennutzungen überprüft werden.



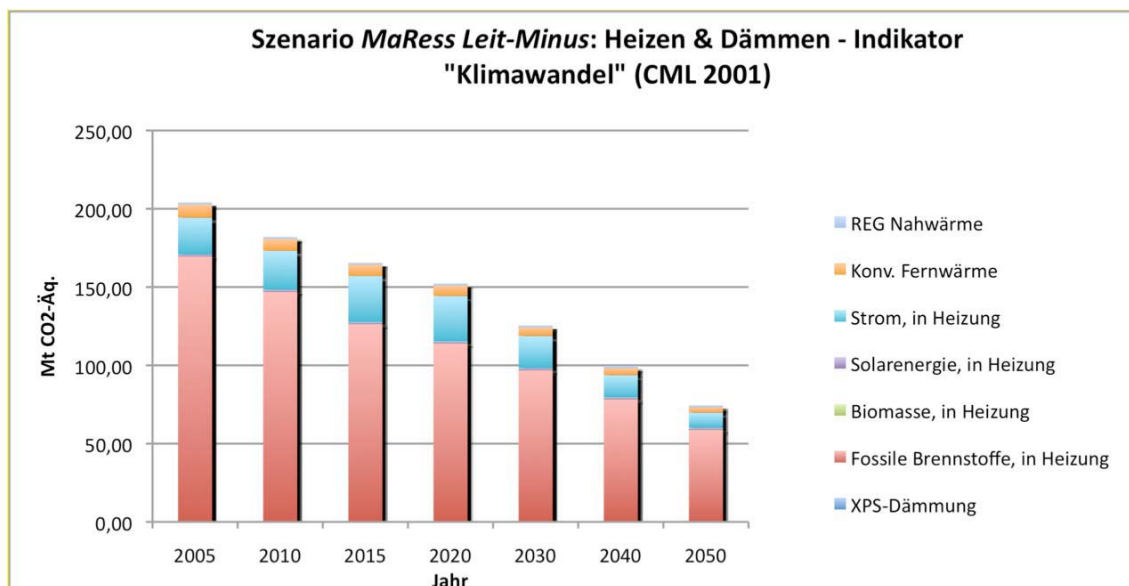
Abb. 7-7: Absolute Entwicklung des CML-Indikators „Landverbrauch“ im Szenario *MaRes Leit-Minus*



Quelle: Eigene Modellberechnung

Das absolute Treibhauspotenzial sinkt im Szenario *MaRes Leit-Minus* etwas deutlicher von 204 Mt CO<sub>2</sub>-Äq. in 2005 auf 75 Mt in 2050 – unter ebenfalls vernachlässigbarem Einfluss der Dämmstoff-Herstellung von maximal 482 kt in 2040 (vergleiche Abb. 7-8).

Abb. 7-8: Absolute Entwicklung des CML-Indikators „Klimawandel“ im Szenario *MaRes Leit-Minus*

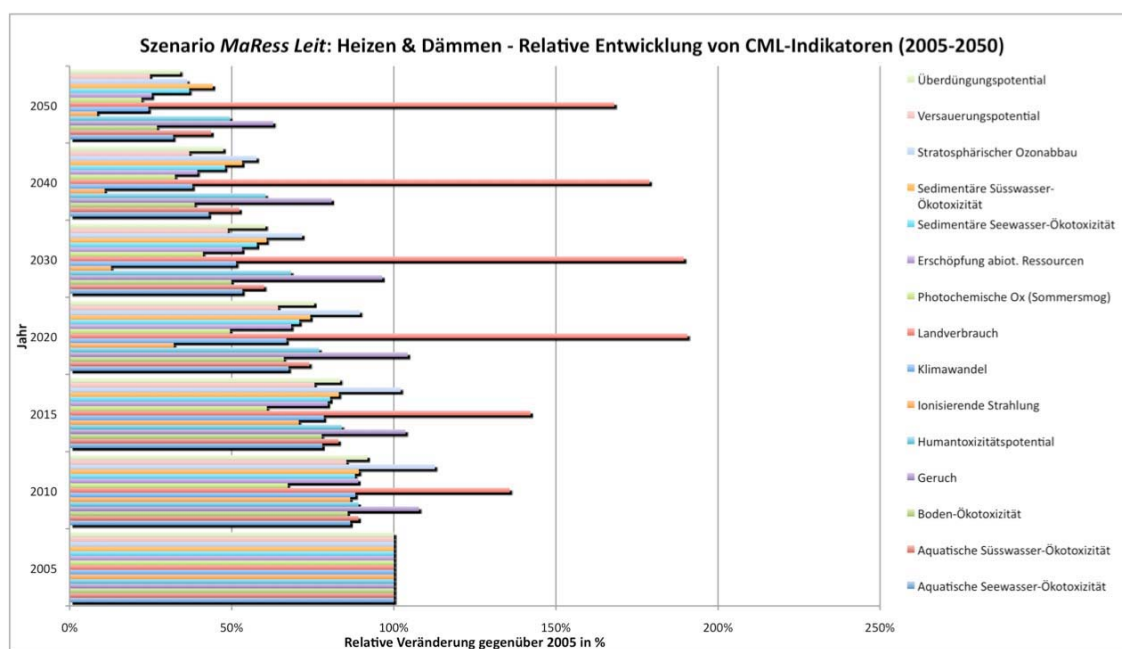


Quelle: Eigene Modellberechnung

### Szenario *MaRes Leit*

Abb. 7-9 zeigt die relative Entwicklung des CML-Indikatorensets im Szenario *MaRes Leit*. Das Szenario weist im Vergleich zu *MaRes Leit-Minus* einen noch stärkeren Rückgang der meisten Indikatoren um 60-75% bis 2050 gegenüber 2005 auf.

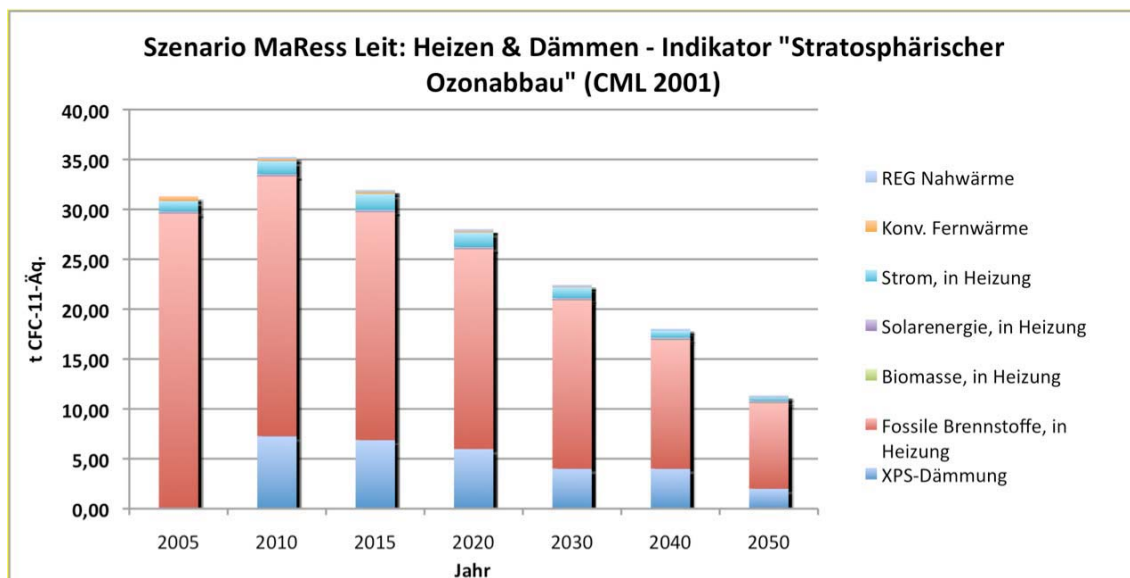
Abb. 7-9: Relative Entwicklung von CML-Indikatoren im Szenario *MaRes Leit*



Quelle: Eigene Modellrechnungen

Durch Abweichungen von diesem Trend zeigen sich auch hier verstärkte Trade-off Effekte zwischen verschiedenen Umweltwirkungen: Tendenz und Ursachen für den zwischenzeitlichen Anstieg des Indikators „Geruch“ sind vergleichbar mit Szenario *MaRes Leit-Minus*, wobei die schneller schwindende Abhängigkeit von fossilen Heizenergiequellen hier einen schnelleren Rückgang ab 2030 verursacht. Auch der Landverbrauch zeigt einen ähnlichen Trend wie in *MaRes Leit-Minus*, der sich aber im Vergleich durch größere Endenergie-Anteile der Biomasse-Heizungen von zum Beispiel 90 PJ (Leit) statt 62 PJ (Leit-Minus) in 2020 noch ausgeprägter darstellt. Auch der grundsätzlich durch die Nutzung fossil befeuerter Heizungen dominierte Indikator „Stratosphärischer Ozonabbau“ steigt auf Grund zusätzlicher prozessbedingter Emissionen der Herstellung von XPS-Dämmstoffen zwischenzeitlich leicht über den Wert des Basisjahres 2005, sinkt dann aber bis 2050 deutlich um 64% des Bezugswertes (siehe Abb. 7-10).

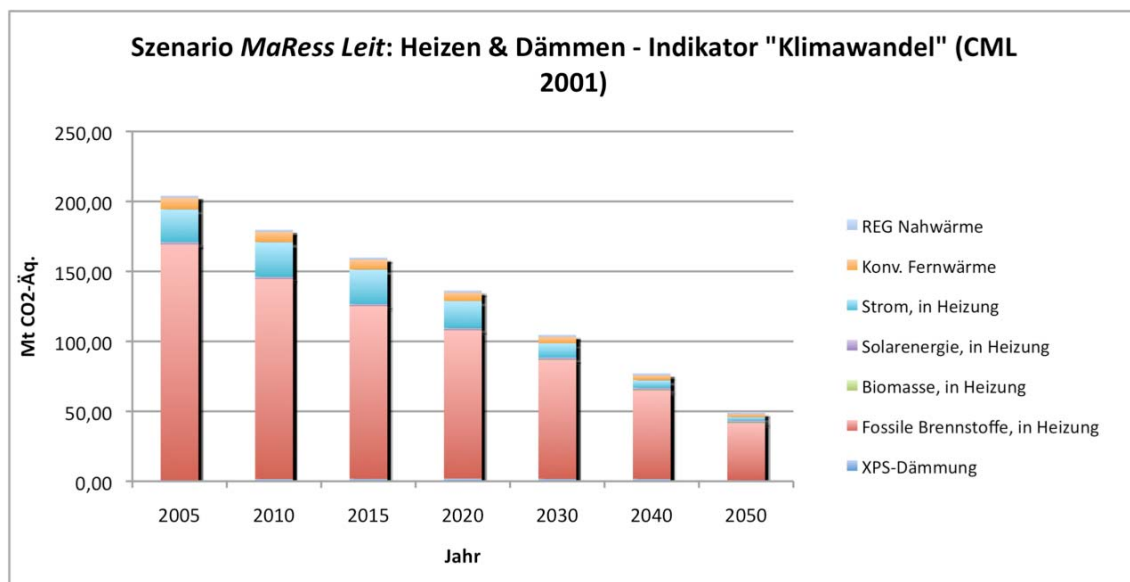
Abb. 7-10: Absolute Entwicklung des CML-Indikators „Stratosphärischer Ozonabbau“ im Szenario *MaRes Leit*



Quelle: Eigene Modellberechnung

Das absolute Treibhauspotenzial sinkt gemäß Abb. 7-11 im Szenario *MaRes Leit* von 204 Mt CO<sub>2</sub>-Äq. in 2005 auf 50 Mt in 2050 – unter geringem Einfluss der Dämmstoff-Herstellung von maximal etwa 2 Mt in 2020.

Abb. 7-11: Absolute Entwicklung des CML-Indikators „Klimawandel“ im Szenario *MaRes Leit*



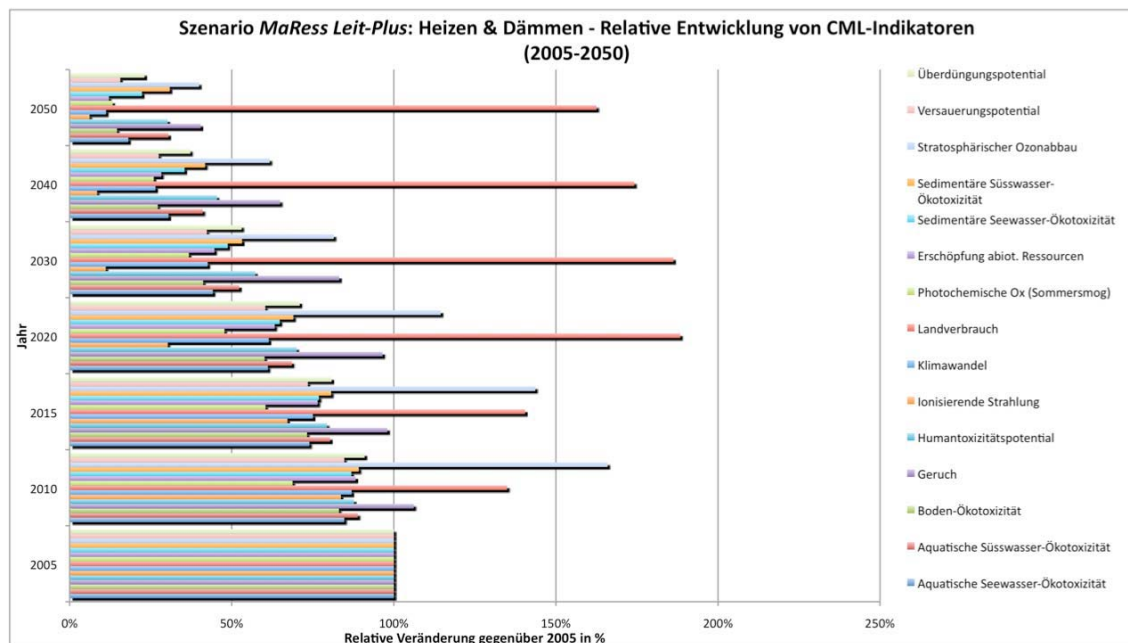
Quelle: Eigene Modellberechnung

### Szenario *MaRes Leit-Plus*

Abb. 7-12 zeigt die relative Entwicklung des CML-Indikatorensets im Szenario *MaRes Leit-Plus*. Der Rückgang eines Großteils der Indikatoren fällt hier nochmals stärker aus als im Szenario *MaRes Leit* und liegt in den meisten Fällen bei 70-90% bis 2050 gegenüber dem Basisjahr 2005

Durch zwischenzeitliche Zunahmen (aber letztendlich auch eine deutliche Reduktion der jährlichen Emissionen über den zeitlichen Modellhorizont) sind auch in diesem Szenario die Indikatoren „Geruch“ und „Stratosphärischer Ozonabbau“ gekennzeichnet. Auf Grund der zusätzlichen Dämmstofftonnagen, die in diesem Szenario verbaut werden, fällt die zwischenzeitliche Steigerung des Ozonabbaupotenzials dabei zwischen 2010 und 2020 zunächst deutlicher aus als in *MaRes Leit*. Durch die Einsparung von fossiler Heizenergie auf Grund der Dämmung wird dieser Effekt aber schon ab 2030 kompensiert, so dass sich die Werte dieses Indikators der beiden Szenarien im Zeitraum 2030 bis 2050 weitgehend gleichen. Da der Einsatz von Biomasse in der regenerativen Wärme-Einzelsversorgung im Szenario *MaRes Leit* und *Leit-Plus* identisch ist, ergibt sich auch hier in annähernd identischer Form der bereits geschilderte Trade-off des Indikators „Landverbrauch“.

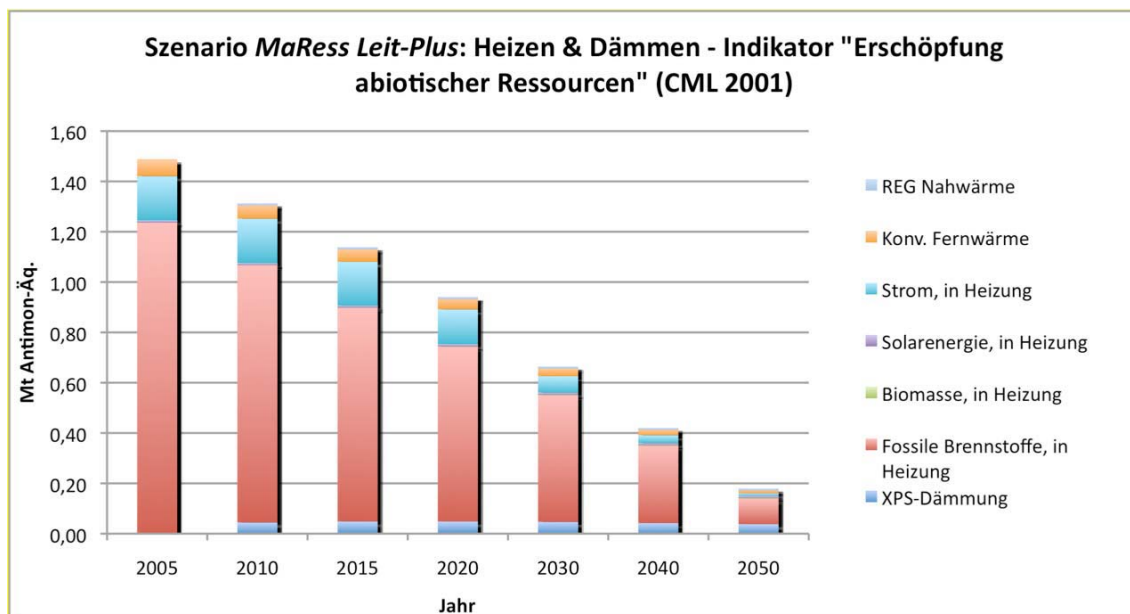
Abb. 7-12: Relative Entwicklung von CML-Indikatoren im Szenario *MaRes Leit-Plus*



Quelle: Eigene Modellrechnungen

Abb. 7-13 zeigt, dass der massive Einsatz von Dämmstoffen in diesem Szenario zwar zum Indikator „Erschöpfung abiotischer Ressourcen“ beiträgt, diesen aber – im Gegensatz zur Nutzung fossiler Energiequellen zu Heizzwecken – mit einem Anteil von 3% in 2010 und 10% in 2050 nicht maßgeblich beeinflusst.

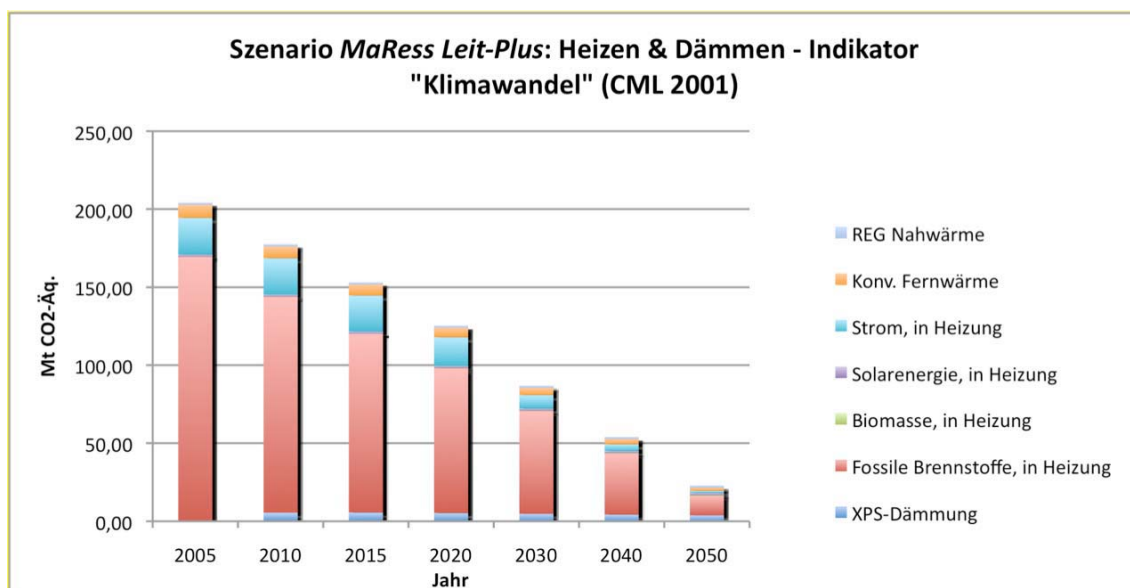
Abb. 7-13: Absolute Entwicklung des CML-Indikators „Erschöpfung abiotischer Ressourcen“ im Szenario *MaRes Leit-Plus*



Quelle: Eigene Modellberechnungen

Das absolute Treibhauspotenzial sinkt im Szenario *MaRes Leit-Plus* von 204 Mt CO<sub>2</sub>-Äq. in 2005 auf nur noch 23 Mt in 2050. Erstmals kommt dabei der Bereitstellung des XPS-Dämmstoffs ein in der Skalierung der Grafik erkennbarer Anteil zu, der aber auch bis 2050 trotz des hohen Rückgangs der Heizemissionen nicht über 17% der gesamten residualen THG-Emissionen des Systems ansteigt (vergleiche Abb. 7-14).

Abb. 7-14: Absolute Entwicklung des CML-Indikators „Klimawandel“ im Szenario *MaRes Leit-Plus*

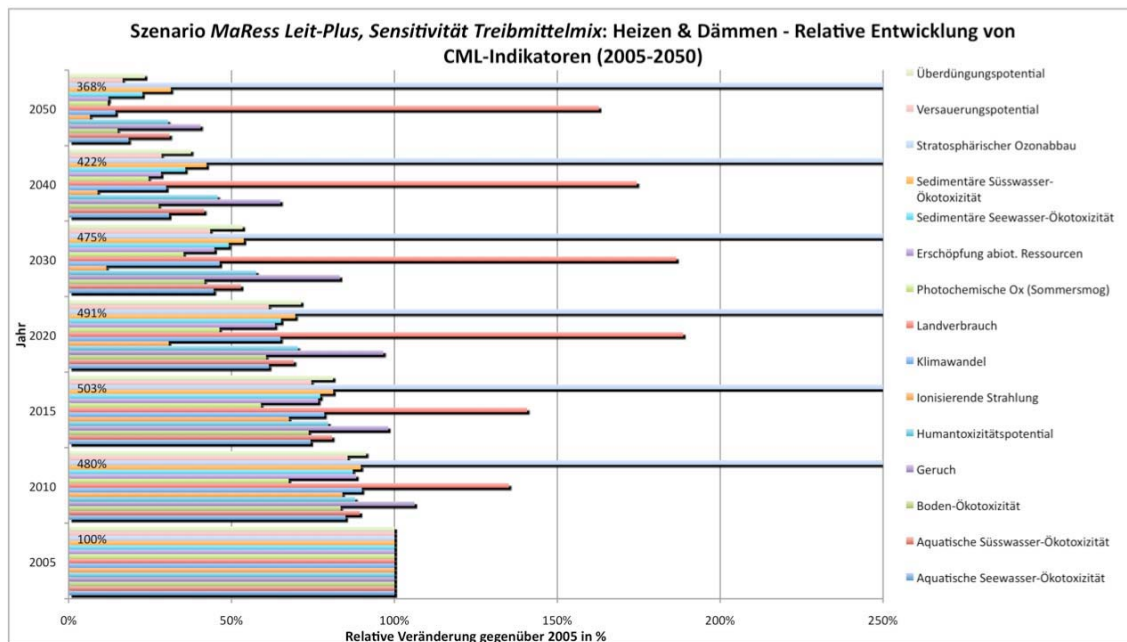


Quelle: Eigene Modellberechnungen

### Szenario *MaRes Leit-Plus*, Sensitivität Treibmittel XPS

Für das Szenario *MaRes Leit-Plus* wurde eine Sensitivitätsrechnung durchgeführt, die das Ausmaß der Abweichungen von Indikator-Werten bei verändertem Treibmittelmix in der Herstellung von XPS-Dämmstoffen darstellt (siehe Kapitel 5.4.1). Die relative Entwicklung des CML-Indikatorensets dieser Sensitivität ist in Abb. 7-15 dargestellt.

Abb. 7-15: Relative Entwicklung von CML-Indikatoren im Szenario *MaRes Leit-Plus* (Sensitivität Treibmittel) – Werte zwischen 250 und 500% abgeschnitten

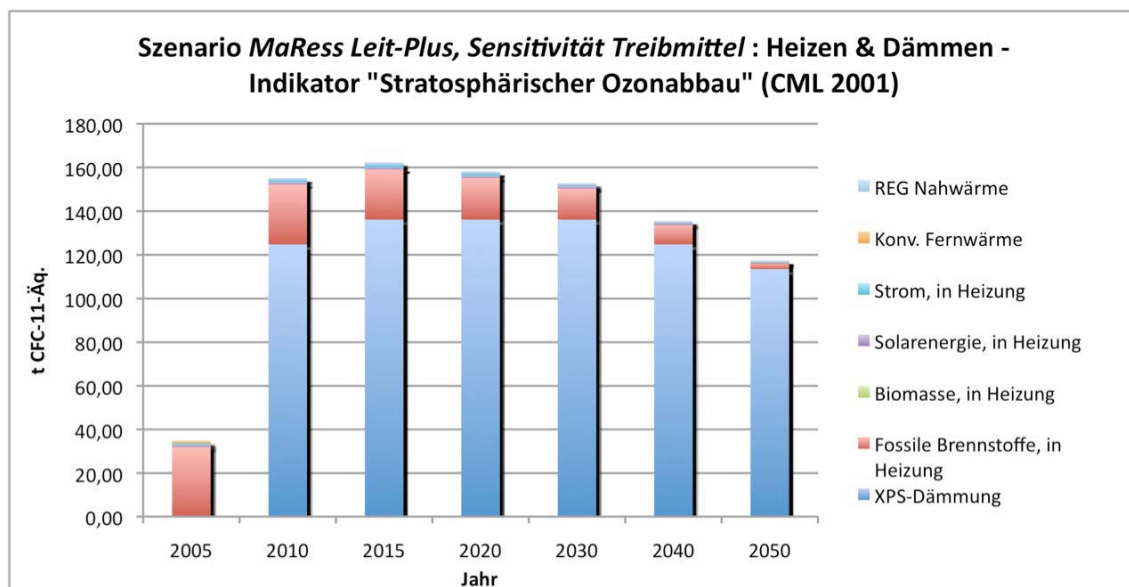


Quelle: Eigene Modellrechnungen

Überdeutlich lässt die Abbildung einen erheblichen Trade-off zwischen vielfältigen reduzierten Umweltwirkungen als Folge insbesondere der Heizenergieeinsparung einerseits und des „Stratosphärischen Ozonabbaus“ andererseits erkennen: Da die grafische Darstellung des Ozonabbaupotenzials den Wertebereich übersteigt, der zur Vergleichbarkeit aller Szenarien untereinander gewählt wurde, sind die Zahlenwerte der relativen Entwicklung dieses Indikators an der Basis der Diagrammbalken aufgetragen. Sie erreicht in 2015 ein Maximum von 503% des Niveaus im Basisjahr und liegt im Jahr 2050 bei 368%. Die absolute Entwicklung des Ozonabbaupotenzials ist zudem auch in Abb. 7-16 dargestellt. Sie bedeutet nicht zwangsläufig, dass auch im Relation zu Grenzwerten oder nationalen Emissionsstatistiken ein hohes Emissionsniveau erreicht wird. Vielmehr kann es sich auch um einen Hinweis darauf handeln, dass in anderen Prozessketten, die Bestandteil des Stoffstrommodells sind, weitgehend auf die Freisetzung ozonabbauender Substanzen verzichtet wird.



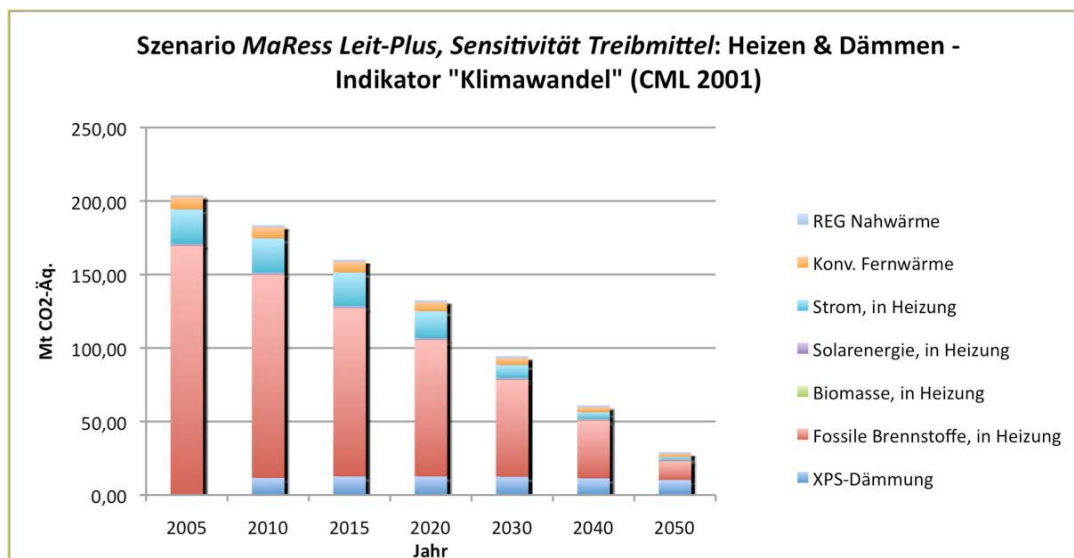
Abb. 7-16: Absolute Entwicklung des CML-Indikators „Stratosphärischer Ozonabbau“ im Szenario *MaRes Leit-Plus* (Sensitivität Treibmittel)



Quelle: Eigene Modellberechnungen

Die relativen Veränderungen weiterer Indikatoren im Vergleich zur Basisvariante des Szenarios *MaRes Leit-Plus* sind dagegen marginal. Dies trifft auch auf den Indikator „Klimawandel“ zu: Die Treibhausgas-Emissionen der XPS-Herstellung fallen in der relativen Betrachtung im Vergleich zu Emissionen der Gebäudebeheizung nur wenig ins Gewicht. Dennoch zeigt die Darstellung der absoluten CO<sub>2</sub>-Äquivalente des Systems in Abb. 7-17 einen deutlichen Zuwachs der Sensitivität: Die XPS-Herstellung leistet hier zum Indikatorwert einen maximalen Beitrag von 12,7 Mt CO<sub>2</sub>-Äq. in 2015 im Vergleich zu 5,7 Mt in der Basisvariante von *MaRes Leit-Plus*. Die Treibmittel-Auswahl ist deshalb grundsätzlich auch aus Perspektive des Klimaschutzes von Bedeutung.

Abb. 7-17: Absolute Entwicklung des CML-Indikators „Klimawandel“ im Szenario *MaRes Leit-Plus* (*Sensitivität Treibmittel*)

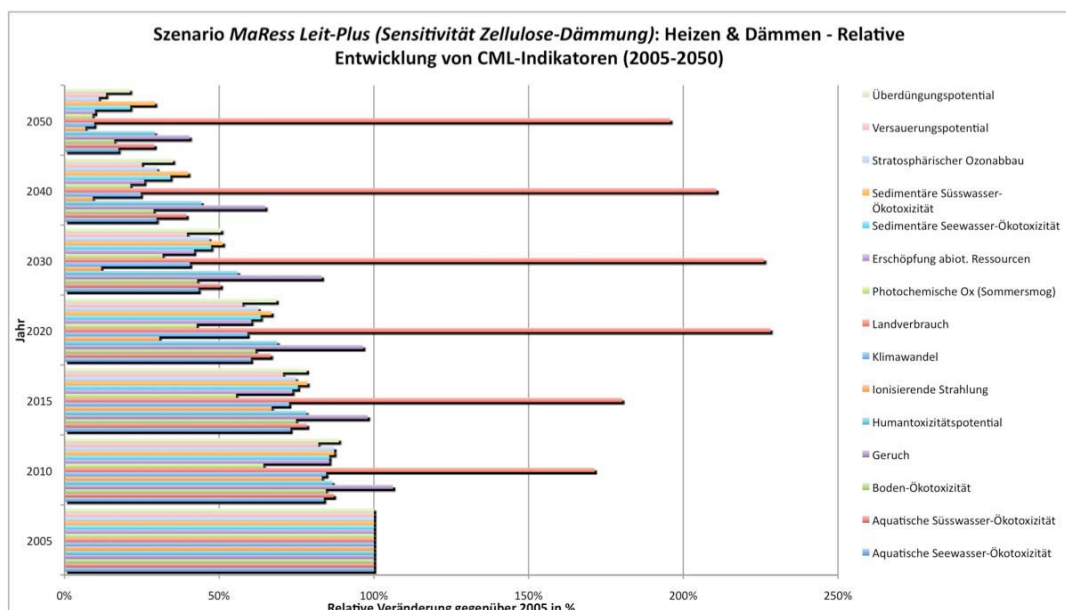


Quelle: Eigene Modellrechnungen

### Szenario *MaRes Leit-Plus*, Sensitivität Zellulose-Dämmung

Eine weitere Sensitivitätsrechnung im Szenario *MaRes Leit-Plus* zeigt das Ausmaß der Abweichungen von Indikator-Werten bei Einsatz von Zellulose-Flocken (aus Altpapier) an Stelle von XPS in der energetischen Gebäudesanierung. Die relative Entwicklung des CML-Indikatorensets dieser Sensitivität ist in Abb. 7-18 dargestellt.

Abb. 7-18: Relative Entwicklung von CML-Indikatoren im Szenario *MaRes Leit-Plus* (*Sensitivität Zellulose-Dämmung*)



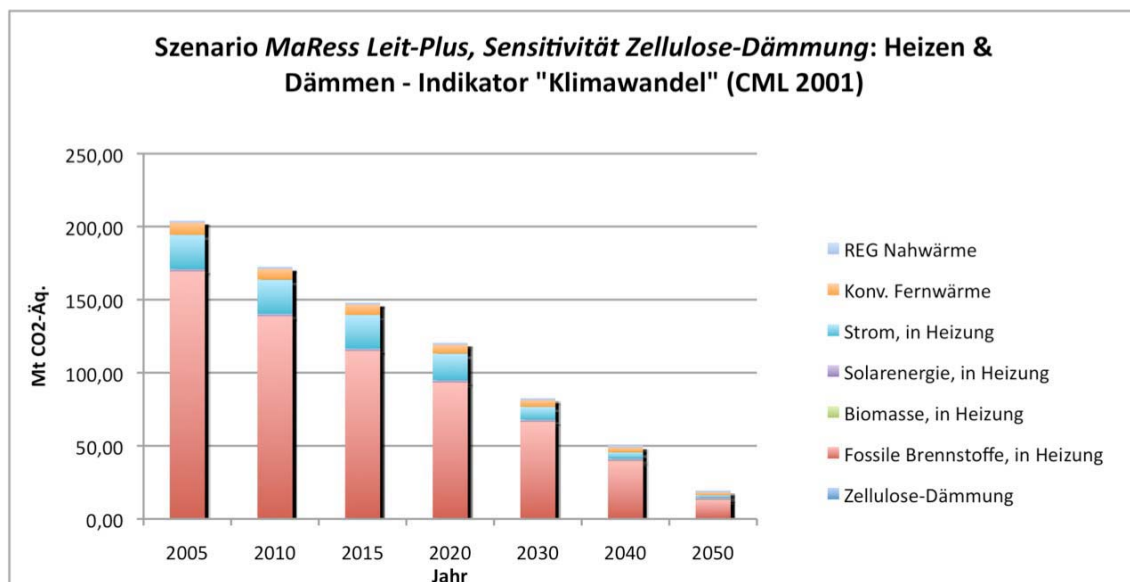
Quelle: Eigene Modellrechnungen



Der Vergleich mit der Basisvariante des Szenarios *MaRes Leit-Plus* zeigt erwartungsgemäß, dass zuvor erkennbare Trade-off Effekte im Bereich des „Stratosphärischen Ozonabbaus“ hier entfallen, da die Herstellung der Zelluloseflocken keinen Treibmitteleinsatz erforderlich macht. Der entsprechende Indikator folgt dem generellen Trend eines kontinuierlichen Rückgangs und erreicht bis 2050 eine Reduktion um 89% im Vergleich zu 2005. Während die Entwicklung des Indikators „Geruch“ durch die Zellulose-Nutzung unverändert bleibt, ergibt sich eine noch stärkere Ausprägung des Trade-offs „Landverbrauch“: Dieser kommt durch die Einbeziehung von Verpackungs- und Transportmaterial in Form von Euro-Flachpaletten und ungebleichtem Kraftpapier aus Holzzellstoff zu Stande, die zu drei Viertel beziehungsweise einem Viertel zum Landverbrauch der Zelluloseflocken beitragen. Der Herstellung des eigentlichen Dämmstoffs aus Altpapier als Abfallprodukt wird dagegen keine Umweltwirkung der Bereitstellung zugeordnet.

Alle weiteren Indikatoren erfahren durch die Verwendung von Zellulose statt XPS nur einen geringfügigen positiven Effekt, der sich in einer weiteren leichten Abnahme um jeweils etwa 1-4%-Punkte in 2050 unter das Niveau der Basisvariante des Szenarios *MaRes Leit-Plus* ausdrückt. Dies gilt auch für die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen, die bis 2050 auf 19,6 Mt pro Jahr sinken und damit den niedrigsten Wert im Vergleich aller betrachteten Szenarien erreichen (Abb. 7-19).

Abb. 7-19: Absolute Entwicklung des CML-Indikators „Klimawandel“ im Szenario *MaRes Leit-Plus* (Sensitivität Zellulose-Dämmung)



Quelle: Eigene Modellberechnungen

### 7.3 Trade-off Analyse der Materialintensität mittels MIPS am Beispiel der Dämmstoffe XPS und Zellulose

Wie in Kapitel 3.3 beschrieben, steht in Standardsoftware-Paketen zur Ökobilanzierung bisher kein Ressourcenindikator im Sinne von TMR oder MIPS zur Verfügung. Andererseits existiert bisher keine geeignete Modellumgebung inklusive entsprechend aufbereiteter und reviewter TMR- oder MIPS-Daten, mit der das hier entwickelte Bottom-up Wirkungsanalyse Modell hätte gekoppelt werden können. Die Nutzung der in Ökobilanzen existierenden Ressourcenkategorien ist somit ein erster Schritt, um überhaupt Analysen wie die hier erfolgten Trade-off-Abschätzungen durchführen zu können.

Um dennoch auf eine erweiterte Ressourcenbetrachtung eingehen zu können, wird im Folgenden beispielhaft und ohne Modellumgebung eine Trade-off Analyse mittels des MIPS-Indikatorensets durchgeführt. Das MIPS-Konzept wurde vom Wuppertal Institut entwickelt und stellt den „Ökologischen Rucksack“ eines Produktes oder einer Serviceleistung dar (gemessen in MIPS-Einheiten = Material Input per Service Unit). Beachtet werden sollte jedoch, dass diese Vorgehensweise nur eine statische Analyse auf Basis nicht-reviewter Daten darstellt, da ein einmal ermittelter MIPS-Faktor verwendet wird, ohne Veränderungen der Herstellungsverfahren des betrachteten Produktes und seiner Vorketten in der Zukunft zu berücksichtigen.

Die Analyse wird am Beispiel der beiden Dämmvarianten XPS und Zellulose durchgeführt, so dass einerseits der Trade-off zwischen zusätzlicher Dämmung und vermiedenen Nutzenergieverbrauch, andererseits ein Vergleich der beiden Dämmvarianten analysiert werden kann. Die bei den unterschiedlichen Dämmvarianten benötigten Materialmengen wurden bereits in Abb. 7-16 dargestellt. Abb. 7-17 zeigt die jeweiligen MIPS-Faktoren der beiden Dämmstoffe (und zum Vergleich diejenigen einiger anderer Baustoffe).

Tab. 7-17: MIPS-Verrechnungsfaktoren von XPS und Zellulose sowie anderer Bau- und Dämmstoffe

Baustofftabelle und MIPS-Verrechnungsfaktoren						
ID	Dichte		MIPS - Grunddaten			
(unique num)	kg/m³		Nicht nachwachsende Rohstoffe	Nachwachsende Rohstoffe	Wasser	CO <sub>2</sub> -Äqu.
			kg/kg	kg/kg	kg/kg	kg/t
68	60	Zellulose	1,7	0,0	6,70	384,0
611	30	XPS	2,5	0,0	164,00	5980,0
Vergleichswerte						
63	30	Polystyrol(PS)-Hartschaum	2,5	0,0	164,00	6640,0
64	30	Polyurethan(PUR)-Hartschaum	6,3	0,0	505,10	6540,0
65	30	Phenolharz(PF)-Hartschaum	3,2	0,0	18,70	4,0
66	250	Mineralwolle	4,0	0,0	39,70	1430,0
67	125	Schaumglas	6,7	0,0	152,60	1190,0
69	700	Hochofenschlacke, Blähton	0,0	0,0	0,0	237,4
610	100	Glaswolle	4,7	0,0	46,00	1470,0

Quelle: Wuppertal Institut (2009)

In Tab. 7-18 und Tab. 7-19 sind die jeweiligen Ergebnisse der MIPS-Berechnungen dargestellt. Hier ist auf die folgenden MIPS-Kategorien eingegangen worden:

1. Abiotisches Material (nicht nachwachsende Rohstoffe),
2. Biotisches Material (nachwachsende Rohstoffe),
3. Wasser,
4. CO<sub>2</sub>-Äquivalente und
5. Primärenergieaufwand

Neben der Darstellung der kumulierten Energieeinsparung in Teil-Tabelle (1) des Bilanzzeitraumes 2005 bis 2050 sind in Teil-Tabelle (2) die Ergebnisse der MIPS-Berechnung des jeweiligen Dämmstoffes enthalten. Dem werden in Teil-Tabelle (3) MIPS-Werte gegenüber gestellt, die durch die vermiedenen Brennstoffe ausgelöst werden. Da nach fortschreitender Szenariodauer und ansteigender Sanierung die Wirkung der jeweiligen Sanierungsmaßnahme über ihre gesamte Lebensdauer erhalten bleibt, ist im gesamten Szenariohorizont eine Brennstoffeinsparung von rund 23.900 PJ erzielt worden, die durch ein Heizsystem im Zeitraum 2005-2050 nicht mehr gedeckt werden muss. Legt man den entstehenden Brennstoff-Mix zugrunde und berechnet man die daraus resultierenden MIPS, ergeben sich die Werte der Teil-Tabelle (3).

Teil-Tabelle (4) schließlich stellt den Saldo der durch die verwendeten Dämmstoffe zusätzlich ausgelösten Belastung und der durch die vermiedenen Brennstoffeinsparung resultierenden Einsparungen dar. Negative Werte, die sich in den allermeisten Fällen ergeben und mit fortschreitender Sanierung erheblich zunehmen, bedeuten eine Kompensation der zusätzlichen Materialeinsatzes durch Energieeinsparung.

Tab. 7-18: Ergebnisse der MIPS-Berechnung und Trade-off Analyse für den Dämmstoff XPS im Szenario *MaRes Leit-Plus*

Tabelle (1) enthält Einsparungen, die durch Maßnahmen im Leitszenario-Plus erzielt sind.		Tabelle (2) enthält -nachrichtlich- die MIPS/TMS aus den vorher erläuterten Bilanzierungsschritten					Tabelle (3) sind die (nutzengeleiteten) Einsparungen aus Tabelle (1) als 'vermiedene Brennstoffe' hochgerechnet worden. Dazu ist der (dynamisierte) Brennstoffmix aus den MIPS-Grunddaten für Brennstoffverbräuche errechnet worden.					Tabelle (4) enthält den Saldo aus den ermittelten MIPS/TMS (Tabelle 2) & den, durch die Wärmedämm-Maßnahme im Leitszenario-Plus, erreichten Einsparungen. Negative Zahlen bedeuten ein Kompensieren des Materialeinsatzes durch die Energieeinsparung.				
(1) Ergebnisse der ENERGIE-Bilanzierung aus HEAT in [PJ]		(2) MIPS durch Einsatz von Dämmstoffen					(3) Vermiedene MIPS (Einsparung Heizenergie) durch Einsatz von Dämmstoffen					(4) Saldo (Mehr-/Mindereinsatz) von XPS-MIPS gegenüber der eingesparten Heizenergie				
Szenarien...		XPS im Leitszenario-Plus					XPS im Leitszenario-Plus					Heizenergie				
[ PJ ]	Kumulierte Nutzenergie-Einsparungen im Leitszenario-Plus durch Wärmedämmung [PJ] im Zeitraum 2005 - 2050	Nicht nachwachsende Rohstoffe	Nachwachsende Rohstoffe	Wasser	CO <sub>2</sub> -Äqu.	el. Energie (Brennstoff)	Nicht nachwachsende Rohstoffe	Nachwachsende Rohstoffe	Wasser	CO <sub>2</sub> -Äqu.	Eingesparte Energie/Brennstoff	Nicht nachwachsende Rohstoffe	Nachwachsende Rohstoffe	Wasser	CO <sub>2</sub> -Äqu.	Energie (Brennstoff)
		---[1000 t]---	---[1000 t]---	---	---	---[MWh]---	---[1000 t]---	---[1000 t]---	---	---	---[MWh]---	---[1000 t]---	---[1000 t]---	---	---	---[MWh]---
2010	336	13.136	0	858.274	31.296	7.452.333	57.192	3.059	571.090	30.659	94.021.959	-44.056	-3.059	287.184	637	-86.569.626
2015	912	14.330	0	936.299	34.141	8.129.817	179.867	17.937	1.835.108	84.475	255.368.464	-165.537	-17.937	-898.809	-50.334	-247.238.647
2020	1.514	14.330	0	936.299	34.141	8.129.817	317.644	38.099	2.840.361	133.052	423.995.190	-303.314	-38.099	-1.904.062	-98.911	-415.865.373
2030	4.818	28.660	0	1.872.598	68.281	16.259.635	1.069.894	215.204	7.472.889	391.684	1.349.064.816	-1.041.234	-215.204	-5.600.290	-323.403	-1.332.802.181
2040	7.097	26.272	0	1.716.549	62.591	14.904.665	1.849.682	409.122	10.379.638	540.309	1.987.265.232	-1.823.411	-409.122	-8.463.090	-477.718	-1.972.360.567
2050	9.273	23.883	0	1.560.499	56.901	13.549.696	3.168.852	667.009	12.171.116	628.964	2.596.568.696	-3.144.969	-667.009	-10.610.618	-572.063	-2.583.019.000
Summe im Bilanz-Rahmen 2005 - 2050	23.951	120.610	0	7.880.518	287.351	68.425.963	6.643.132	1.350.429	35.270.302	1.809.142	6.706.281.357	-6.522.521	-1.350.429	-27.389.684	-1.521.792	-6.637.855.394

Quelle: Eigene Modellrechnungen

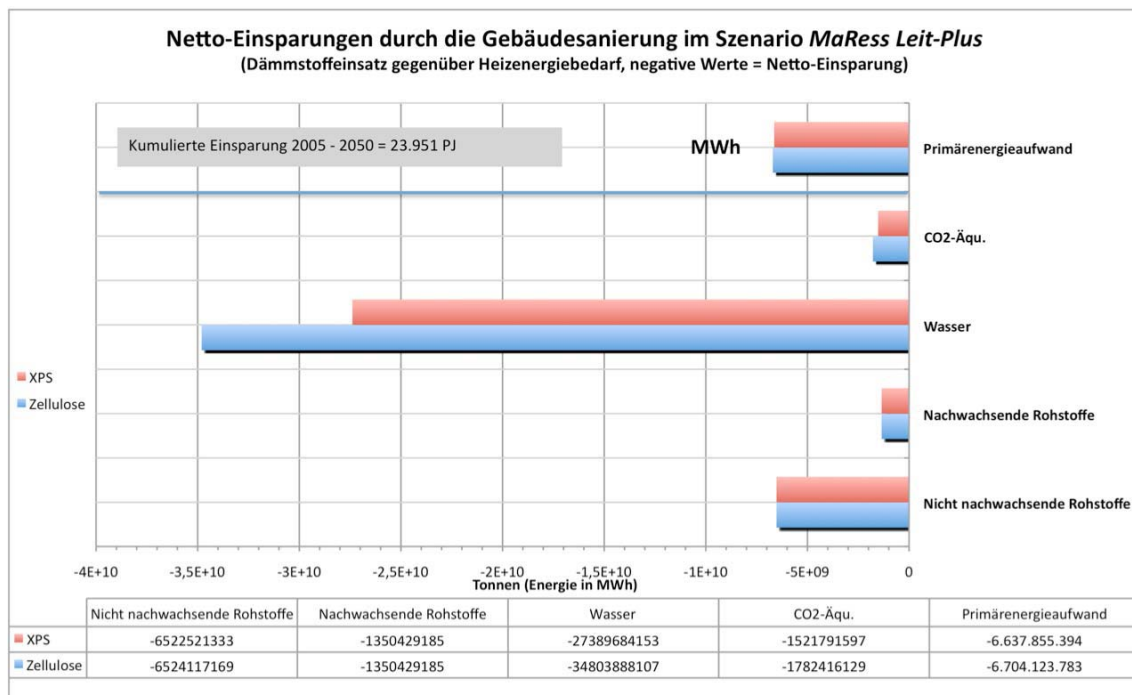
Tab. 7-19: Ergebnisse der MIPS-Berechnung und Trade-off Analyse für den Dämmstoff Zellulose im Szenario MaRes Leit-Plus

Tabelle (1) enthält Einsparungen, die durch Maßnahmen im Leitszenario-Plus erzielt wurden.		Tabelle (2) enthält -nachrichtlich- die MIPS/TMR aus den vorher erläuterten Bilanzierungsschritten						In der Tabelle (3) sind die (nutzenegieselten) Einsparungen aus Tabelle (1) als 'vermiedene Brennstoffe' hochgerechnet worden. Dazu ist der (dynamisierte) Brennstoffmix aus den MIPS-Grunddaten für Brennstoffverbräuche errechnet worden.						Die Tabelle (4) enthält den Saldo aus den ertüchtigten MIPS/TMR (Tabelle 2) & den durch die Wärmedämm-Maßnahme im Leitszenario-Plus erreichten Einsparungen. Negative Zahlen bedeuten ein Kompensieren des Materialeinsatzes durch die Energieeinsparung.					
(1) Ergebnisse der ENERGIE-Bilanzierung aus HEAT in [PJ]		(2) MIPS durch Einsatz von Dämmstoffen Zellulose im Leitszenario-Plus						(3) Vermiedene MIPS (Einsparung Heizenergie) durch Einsatz von Dämmstoffen Zellulose im Leitszenario-Plus						(4) Saldo (Mehr-/Mindereinsatz) von Zellulose-MIPS gegenüber der eingesparten Heizenergie					
[ PJ ]	Kumulierte Nutzenergie-Einsparungen im Leitszenario-Plus durch Wärmedämmung [PJ] ---[PJ]---	Nicht nachwachsende Rohstoffe	Nachwachsende Rohstoffe	Wasser	CO <sub>2</sub> -Äqu.	el. Energie (Brennstoff) ---[MWh]---		Nicht nachwachsende Rohstoffe	Nachwachsende Rohstoffe	Wasser	CO <sub>2</sub> -Äqu.	Eingesparte Energie/Brennstoff ---[MWh]---		Nicht nachwachsende Rohstoffe	Nachwachsende Rohstoffe	Wasser	CO <sub>2</sub> -Äqu.	el. Energie (Brennstoff) ---[MWh]---	
2010	336	12.962	0	50.787	2.911	234.983		95.320	11.007	951.817	51.098	156.703.265		-82.358	-11.007	-901.030	-48.187	-156.468.282	
2015	912	14.140	0	55.404	3.175	256.345		115.824	14.776	1.181.700	54.397	164.441.998		-101.683	-14.776	-1.126.296	-51.221	-164.185.653	
2020	1.514	14.140	0	55.404	3.175	256.345		138.420	27.345	1.148.327	53.791	171.416.545		-114.280	-27.345	-1.092.923	-50.616	-171.160.199	
2030	4.818	28.281	0	110.807	6.351	512.691		524.776	136.226	3.665.402	192.118	661.705.818		-496.495	-136.226	-3.554.595	-185.768	-661.193.127	
2040	7.097	25.924	0	101.573	5.822	469.966		576.121	159.003	3.232.949	168.290	618.974.179		-550.197	-159.003	-3.131.376	-162.469	-618.504.213	
2050	9.273	23.567	0	92.339	5.292	427.242		733.938	220.819	2.818.951	145.674	601.391.059		-710.370	-220.819	-2.726.612	-140.382	-600.963.817	
Summe im Bilanz-Rahmen 2010-2050	23.951	119.015	0	466.314	26.726	2.157.573		2.174.398	569.175	12.999.145	665.369	2.374.632.865		-2.055.384	-569.175	-12.532.831	-638.643	-2.372.475.291	

Quelle: Eigene Modellrechnungen

Betrachtet man neben den Wirkungsindikatoren aus der Ökobilanzierung auch das Ressourcenindikatoren-Set MIPS, so wird deutlich, dass Varianten des Szenarios MaRes *Leit-Plus* mit XPS- und Zellulose-Dämmung mit vergleichbaren Auswirkungen auf die Materialintensität verbunden sind. Die kumulierten Nettoeffekte, die sich hier aus dem Dämmstoffeinsatz in Gegenüberstellung mit der Einsparung von Heizenergie ergeben, werden in Abb. 7-20 dargestellt. Sie umfassen eine Abschätzung der Salden des Primärenergieaufwandes, der Treibhausgasemissionen sowie des Bedarfs an Wasser, biotischen und abiotischen Rohstoffen. Die negativen Indikatorwerte zeigen dabei an, dass durch die Dämmwirkung und den damit verbundenen starken Heizenergieerückgang in beiden Fällen die Material-Mehrverbräuche durch die Einsparungen überkompensiert werden.

Abb. 7-20: Ergebnisse der Trade-off Analyse (Ressourceneinsatz versus Einsparungen) der Dämmstoffvarianten XPS und Zellulose



Quelle: Eigene Modellrechnungen

Trotz seines durch die höhere Dichte ausgelösten direkten Materialmehraufwandes ist der Dämmstoff Zellulose in der gesamten Prozesskette geringfügig weniger materialintensiv als der feinporigere extrudierte Polystyrol-Hartschaum XPS. Dies zeigt sich besonders beim Wasserverbrauch. Zusammenfassend lässt sich aber festhalten, dass ambitionierte Dämmstoffstrategien sowohl mittels XPS als auch Zellulose im Hinblick auf alle in diesem Arbeitsschritt analysierten Faktoren einen wesentlichen Beitrag sowohl zu Materialeffizienz- als auch zu Emissionsminderungszielen leisten.

Grundsätzlich können sich bei der Verwendung holzbasierter Dämmstoffe Konkurrenzsituationen ergeben. Im Fall der Zellulose wäre aber selbst bei einer Vollsanierung bis

2050 ausschließlich auf Basis dieses Dämmstoffes gemäß Abb. 7-3 mit einem Aufwand von durchschnittlich etwa 1,2 Millionen Tonnen Altpapier pro Jahr zu rechnen. Dies entspricht ca. 8% des inländischen Altpapieraufkommens in 2007 von 15,4 Millionen Tonnen (VDP 2010). In einem realitätsnahen Dämmstoffmix sind Nutzungskonkurrenzen mit der Recyclingpapier-Herstellung und indirekte Flächenkonkurrenzen um forstliche Ressourcen daher eher als gering einzuschätzen, aber dennoch im Rahmen der Festlegung einer Dämmstoffstrategie zu prüfen.



## 8 Schlussfolgerungen, Politikempfehlungen und Forschungsbedarf

### 8.1 Schlussfolgerungen und Politikempfehlungen

Die Modellierung innerhalb des AS6.2 hat eine Vielzahl neuer Erkenntnisse erbracht. Die drei zentralen Ergebnisse auf methodischer Seite sind

- die Entwicklung des Bottom-up Wirkungsanalyse-Modells und die beispielhafte Anwendung auf das Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“,
- die erstmals durchgeführte Trade-off Analyse zwischen Effizienzsteigerung, Ressourcenverbrauch und Emissionswirkungen und
- die dadurch möglich gewordene Erweiterung „reiner“ Energieszenarien um ressourcenpolitische Analysen.

Das zentrale Ergebnis der Modellanalyse ist, dass zusätzliche Aufwendungen für Dämmstoffe sowohl ressourcen- als auch emissionsseitig in fast allen Umweltwirkungskategorien durch erhebliche Einsparungen bei der Gebäudebeheizung überkompensiert werden. Im Wesentlichen sind keine Trade-offs erkennbar, und der prozentuale Beitrag der Dämmstoffe an den Umweltwirkungsindikatoren ist gering. Relevante Auswirkungen sind nur im Fall erhöhter Anteile von Biomasse-Heizanlagen erkennbar, da eine verstärkte Biomassenutzung negative Auswirkungen auf den Indikator für Flächenverbrauch hat.

Vergleicht man die Entwicklung der Umweltwirkungen entlang der vier Szenarien, so wird deutlich, dass schon im Referenzfall, dem Szenario *MaRess BAU*, ein kontinuierlicher, aber moderater Netto-Rückgang aller betrachteten Wirkungskategorie-Indikatoren in Höhe von jeweils 30-50% bis 2050 im Vergleich zu 2005 zu beobachten ist. Dieser Rückgang steigt erwartungsgemäß bei forcierter Ressourcen- und Klimapolitik mehr und mehr an und erreicht im Szenario *MaRess Leit-Plus* im gleichen Zeitraum 70-90% Netto-Entlastung.

Relevant ist die Wahl des Treibmittels bei den aufgeschäumten XPS-Dämmstoffen: Für die Basisanalyse wurde angenommen, dass 90-96% des in Deutschland verwendeten XPS mittels CO<sub>2</sub> aufgeschäumt wird und der Rest jeweils zur Hälfte durch die Fluorkohlenwasserstoffe FKW 134a und FKW 152a abgedeckt wird. Da dies in anderen Ländern erheblich abweichen kann, wurde in einer Sensitivitätsanalyse eine Treibmittel-Zusammensetzung von 50% CO<sub>2</sub> und jeweils 25% FKW 134a und FKW 152a angenommen. Im Endergebnis führt dies zu einem erheblichen Trade-off bezüglich der Wirkungskategorie „Stratosphärischer Ozonabbau“ (die Belastung durch die Dämmung übersteigt die Entlastung durch die entsprechende Energieeinsparung um 500% in 2015 und geht auf 368% in 2050 zurück) und zu einer erkennbaren, jedoch nicht so deutlichen Wirkung auf das Treibhaus-Potenzial.



Die Sensitivitätsanalyse mit dem alternativen Dämmmaterial Zellulose hat gezeigt, dass sich die an sich schon geringen Anteile der Dämmstoffe an den Wirkungsindikatoren weiter verringern. Erweitert man diese Betrachtung der Ökobilanzierung auf das Ressourcenindikatoren-Set MIPS, so wird deutlich, dass XPS- und Zellulose-Dämmung mit vergleichbaren Auswirkungen auf die Materialintensität verbunden sind. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass für beide Materialien ambitionierte Dämmstoffstrategien im Hinblick auf alle in diesem Arbeitsschritt analysierten Faktoren einen wesentlichen Beitrag sowohl zu Materialeffizienz- als auch zu Emissionsminderungszielen leisten.

Die berechneten Materialintensitäten sind jedoch nur als erste Analyse zu verstehen. Für eine umfassende Bewertung sind eine einheitliche Produkt-Datenbasis mit aktualisierten, reviewten und auf die Zukunft fortschreibbaren Datensätzen und Indikatoren notwendig. Die Einbettung eines umfassenden Ressourcenindikators in das etablierte Instrumentarium der Szenarien- und Stoffstromanalyse ist eine weitere Herausforderung, die innerhalb dieses Pilotprojekts deutlich wurde und die aufgrund der begrenzten zeitlichen Kapazität nicht gelöst werden könnten.

Eine andere, wesentliche Einschränkung hat sich durch die Schwierigkeiten ergeben, konkrete ressourcenpolitische Instrumente zu definieren. Keiner der von den Politik-AP 3, 4 und 12 identifizierten Ressourcenpolitik-Ansätze konnte direkt auf den hier modellierten Bereich der Sanierung von Wohngebäuden angewendet werden. Es wurde deutlich, dass hinsichtlich der Verbindung der Szenarienentwicklung und der Stoffstrommodellierung mit der Konkretisierung von wohnraumspezifischen Instrumenten weiterer Forschungsbedarf besteht.

Da die energetischen Ressourcen jedoch einen wesentlichen Anteil an den Umweltauswirkungen des Bedarfsfeldes „Warmer Wohnraum“ haben, konnte in einem ersten Schritt die detaillierte Modellierung energie- und klimapolitischer Ansätze in Verbindung mit einer Ressourcenpolitik (insbesondere im Hinblick auf die Gebäudedämmung) durchgeführt werden. Dies stellt eine erhebliche Erweiterung bisheriger „reiner“ Energieszenarien dar, die nicht auf die Ressourcenseite fokussiert sind und in der Regel emissionsseitig nur Treibhausgasemissionen betrachten.

Die dargestellten Ergebnissen führen zu folgenden Politikempfehlungen:

- Energieeinspar- und Effizienzstrategien, wie sie in den verwendeten MaRes-Szenarien, die auf dem BMU-Leitszenario 2008 aufbauen, modelliert wurden, sollten zügig umgesetzt werden. Entsprechende politische Vorgaben hätten eine positive Wirkung auf fast alle Umweltwirkungskategorien, insbesondere den stofflichen Ressourcenverbrauch und fast alle Emissionsindikatoren.
- Der erhöhte Flächenverbrauch, der sich (indirekt) aus der Zunahme von Biomasse-Heizanlagen ergibt, sollte bei der Umsetzung einer Erneuerbare-Energien-Strategie bedacht werden. Hierzu bedarf es einer umfassenden Biomassestrategie, die den Einsatz für Ernährung, Materialien und Energie gemeinsam betrachtet und die inländische und ausländische Flächennutzung berücksichtigt.

- Aufgrund des erheblichen Trade-offs, der sich ergibt, wenn der Dämmstoff XPS nicht mit CO<sub>2</sub>, sondern mit Fluorkohlenwasserstoffen (FKW) aufgeschäumt wird, sollte industriepolitisch auf eine weitere Reduktion der FKW in Dämmstoffen hingewirkt werden. Während in Deutschland bereits weitgehend CO<sub>2</sub> verwendet wird (angenommen wurde ein Anteil von 90-96%), betrifft dies insbesondere Dämmstoffe, die in anderen Ländern der EU hergestellt werden.
- Nicht nur bei Dämmstoffen, sondern generell bei Baustoffen sollten vertieft die Ressourcenauswirkungen ihrer Herstellung analysiert werden und in industriepolitische Instrumente einfließen.
- Es sollte darauf hingewirkt werden, dass ein standardisierbarer Bilanzierungsansatz entwickelt wird, der die bestehende Ökobilanz-Methodik mit umfassenden stofflichen Ressourcenindikatoren koppelt. Weiterhin sollten aktuelle, harmonisierte, reviewte und fortschreibbare Datensätze bereit gestellt werden.

## 8.2 Forschungsbedarf

Aus der Analyse der offenen Fragen, die sich während der Projektbearbeitung ergeben haben, wurde zudem eine Reihe von Forschungsaspekten abgeleitet, die in einem möglichen Nachfolgeprojekt mit ausreichenden Ressourcen bearbeitet werden sollten.

### Technologiemodell *HEAT*

- *Modellierung des Baubestandes*: Neben der hier erfolgten Betrachtung der Dämmmaterialien bei der energetischen Sanierung sollte auch eine Veränderung des eigentlichen Baubestandes modelliert werden. Hierunter fallen die Optionen Abriss, Neubau oder Recycling. Ebenso sollten neben der Dämmung weitere Materialien wie zum Beispiel der Austausch von Fenstern mit berücksichtigt werden. Ein solcher Arbeitsschritt erfordert die Bilanzierung der in den 44 verschiedenen Haustypen verbauten Stoffströmen sowie eine Abschätzung zukünftig erfolgreicher Materialströme durch Neubau oder Abriss. Aufgebaut werden kann in diesem Arbeitsschritt auf den Arbeiten aus MaRess-AS4.4, in der für drei Haustypen exemplarisch entsprechende Überlegungen angestellt wurden.
- *Erweiterung von HEAT*: Erweiterung des MaRess-Gebäudetypenmodells durch Siedlungstypeneinsatz zur besseren Einbettung von erneuerbaren Energien (Berücksichtigung vieler, dezentraler Anlagen inklusiver lokaler Netze und Speicher).
- *Berücksichtigung des Klimawandels*: Es sollten zukünftig Annahmen getroffen und nach Möglichkeit in die Modellrechnungen einbezogen werden, inwieweit sich der Klimawandel auf den Wärme- und Kältebedarf in Gebäuden auswirkt.

### Bottom-up Modellierung

- *Quantifizierung*: Von den Politik-Wissenschaftlern sollte die Quantifizierung von Politik-Ansätzen beziehungsweise bereits weiter entwickelter Instrumente metho-

disch angegangen werden. Ziel sollte es sein, die kurz-, mittel- und langfristigen Wirkungen identifizierter Politikmaßnahmen auf einer Zeitachse bis 2050 abschätzen zu können. Gleichzeitig sollte ein oder mehrere Zielindikatoren entwickelt werden, die in Langfrist-Szenarien modelliert werden können.

- *Weitere Bedarfsfelder:* Übertragung des entwickelten Ansatzes auf weitere Bedarfsfelder (zum Beispiel Mobilität, Ernährung oder Konsum). Hierzu müssen entsprechende „Technologiemodelle“, wie sie für das Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ mit dem HEAT-Modell vorlagen genutzt oder neu entwickelt werden. Für das Bedarfsfeld Mobilität bietet sich beispielsweise die Kopplung mit dem TREMOD-Modell des ifeu Heidelberg an.
- *Erneuerbare und Ressourcenverbrauch:* Innerhalb des AS6.2 wurden Trade-offs zwischen Effizienzsteigerung, Ressourcenverbrauch und Emissionswirkungen gerechnet. Aufbauend auf dem entwickelten Modellansatz sollten ebenso der Ausbau der erneuerbaren Energien gemäß der *Leitstudie* und dessen Auswirkungen auf den Ressourcenverbrauch gerechnet werden. Insbesondere sollten die Szenarien der *Leitstudie* im Hinblick auf den globalen Flächenbedarf für alle Biomasseverbräuche in Deutschland überprüft werden.
- *Aktualisierung der Szenarien:* Die MaRess-Szenarien basieren auf den Szenarien der Leitstudie 2008. Nach Veröffentlichung der neuen *Leitstudie 2010* sollten die MaRess-Szenarien entsprechend angepasst werden.

### **Bottom-up versus Top-down Modellierung**

- Die Modellergebnisse der Bottom-up Modellierung sollten mit den Ergebnissen der von den Modellierern in AP5 parallel durchgeführten Top-down Rechnung abgeglichen werden. Dieser Schritt konnte in AS6.2 aus zeitlichen Gründen nicht mehr durchgeführt werden. Es sollte anhand eines Beispiels (etwa des Szenarios *MaRess Leit*) verglichen werden, ob nennenswerte Abweichungen zwischen den beiden Modellansätzen entstehen und wenn ja, worauf sie beruhen. Geprüft werden sollte, ob die Ergebnisse mittels eines Hybrid-Modells optimiert werden könnten. So könnten Daten des Top-down Modells im Bottom-up Modell eingesetzt werden, wenn dort keine eigenen Ökobilanzdaten oder Daten mit nicht ausreichender Qualität zur Verfügung stehen.

### **Ökobilanzen und Ressourcenindikatoren**

- *Kopplung von Ökobilanzen und MIPS:* Die Entwicklung der Ökobilanzmethodik (LCA) ist nicht abgeschlossen. So fehlt eine umfassende Erfassung und Bewertung abiotischer und biotischer Ressourcenentnahmen. Zu diesem Zwecke wurde zum Beispiel die MIPS-Methode entwickelt, die grundsätzlich eine Variante der LCA darstellt, mit einem Fokus auf die Input-Seite und umfassender Erhebung der Entnahmen von Primärmaterial. Einer der Hauptindikatoren des MIPS-Konzepts, der TMR, wird auch auf gesamtwirtschaftlicher Ebene eingesetzt und soll nach Verbes-

serung der Datenverfügbarkeit langfristig als „Headline“-Indikator eingesetzt werden (ESTAT, OECD).

Die Systemgrenzen und Allokationsregeln von LCA und MIPS entsprechen sich sehr weitgehend. Dennoch gibt es verschiedene Abweichungen, die künftig harmonisiert werden sollten. Auf der einen Seite existieren verschiedene international, langjährig weiter entwickelte Datenbanken mit Ökobilanz-Modulen (wie die hier verwendete ecoinvent-Datenbank). Diese sind gemäß Ökobilanz-Methodik auf die Emissionen von Produkten oder Dienstleistungen ausgerichtet, erfassen teilweise ausgewählte Substanzflüsse auf der Inputseite bis zur Förderung der Rohstoffe (mit dem Indikator „Erschöpfung abiotischer Ressourcen“). Auf der anderen Seite existiert die von MIPS bekannte Methodik, deren Schwerpunkt die Betrachtung der gesamten Ressourcenflüsse eines Produktes ist. Beide Ansätze werden bereits in Einzelstudien kombiniert (u.a. in MaRes 1), wobei Schlüsselindikatoren wie THG-Emissionen mit MI-Kategorien sowie Flächenaufwand verbunden werden. Allerdings fehlt noch eine Harmonisierung im Bereich der bislang standardmäßig vertriebenen Ökobilanz-Software-Pakete.

Daher ist es nötig, beide Ansätze zu koppeln und idealerweise das Instrument der Ökobilanzierung um die beim MIPS-Konzept betrachteten Ressourcenkategorien zu erweitern. Dies erfordert einen Input in die LCA-Diskussion auf internationaler und nationaler Ebene, zum Beispiel über die UNEP/SETAC International Life Cycle Initiative oder das deutsche Netzwerk Lebenszyklusdaten.

- *Erweiterung bestehender Ökobilanz-Software:* Parallel zum ersten Punkt ist es notwendig, die MIPS-Methodik auch softwaretechnisch in Einklang mit Ökobilanzen zu bringen. Hier bietet es sich an, mit Software-Entwicklern (zum Beispiel ifu Institut für die Software Umberto) bestehende Software-Produkte und Datenbanken um den MIPS-Ansatz zu erweitern. Hierzu hatte es bereits Gespräche mit den Anbietern gegeben.
- *Weiterentwicklung von Ressourcenindikatoren:* Für viele der gängigen Umweltwirkungskategorien besteht weiterhin methodischer Forschungsbedarf. So ist auch hinsichtlich der Wirkungskategorie „Rohstoffbeanspruchung“ die Diskussion um einen geeigneten Rohstoffindikator noch nicht beendet. Indikatorensets wie MIPS zur Erfassung der lebenszyklusweiten Entnahme von Primärmaterial aus der natürlichen Umwelt stellen hier mögliche Lösungsansätze dar, deren Eignung und Richtungssicherheit im Rahmen eines Differenzierungsprozesses zu diskutieren und zu verbessern sind. Zu diesem Zweck wurde bereits ein internationaler Workshop unter Federführung des Wuppertal Instituts im Rahmen des MaRes-Projekts durchgeführt.
- *Erweiterung von Datenbeständen:*
  - Datenbestände zur Rohstoffbeanspruchung sollten aktualisiert und harmonisiert (Abgleich von Annahmen, Daten und Systemgrenzen) sowie dynamisiert (Fortschreibung auf 2025 und 2050) werden.

- Ebenso sollte eine Reihe von Ökobilanz-Datenbeständen (zum Beispiel Geothermiekraftwerke, fossile Heizkraftwerke) aktualisiert und harmonisiert werden; Ressourcenindikatoren sollten in neue und in aktualisierte Datensätze integriert werden; hier bietet sich ebenso eine Zusammenarbeit mit dem deutschen Netzwerk Lebenszyklusdaten an.
- Die Bestandsaufnahme ressourcenintensiver Infrastrukturen sollte weiter voran getrieben werden; Bestandserweiterung und Recyclingoptionen („urban mining“) sollten unter Anwendung verschiedener Langfristszenarien geprüft werden.
- Die Prozesskettenmodellierung innerhalb von Ökobilanzen sollte mit dem Ziel weiter entwickelt werden, dynamische Veränderungen in der Prozesskette einfacher und umfassender berücksichtigen zu können (zum Beispiel veränderte Materialzusammensetzungen beziehungsweise Energiebedarfe in allen Produktionsstufen).

## 9 Literatur

- Acosta, José (2007): Sektorale Potenziale zur Verringerung des Ressourcenverbrauchs der deutschen Wirtschaft und ihre Auswirkung auf Treibhausgasemissionen, Bruttowertschöpfung und Beschäftigung; Teilbericht AP5: Abschätzung von Verbesserungspotenzialen; BMBF-Projekt Ressourcenproduktivität
- Acosta-Fernandez, José / Bleischwitz, Raimund / Krause, M. / Ritthoff, Michael / Scharp, M. / Stürmer, M. / Wilts, Henning et al. (2009): Verbesserung von Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung; Teilvorhaben 1: Potenzialermittlung, Maßnahmenvorschläge und Dialog zur Ressourcenschonung, Forschungsprojekt von Wuppertal Institut und Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung im Auftrag des Umweltbundesamtes; Berlin
- Bartholmai, Bernd / Melzer, Manfred (1993): Wohnungsbaufinanzierung und Perspektiven der Wohnungsnachfrage in den neuen Bundesländern; Wüstenrotstiftung Deutscher Eigenheimverein e.V.; Deutsche Verlags-Anstalt; Stuttgart
- Bleischwitz, Raimund / Jacob, Klaus / Bahn-Walkowiak, Bettina / Petruschke, Thomas / Rennings, Klaus (2009): Ressourcenpolitik zur Gestaltung der Rahmenbedingungen; MS 1: Analyse der Ressourcenpolitikoptionen zur Gestaltung der Rahmenbedingungen; Paper zu Arbeitspaket 3 des Projekts MaRes (Paper 3.1); Wuppertal
- BMU (2008): Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas; Leitstudie 2008
- DIN (2006a): Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006)
- DIN (2006b): Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitung (ISO 14044:2006)
- DLR / IFEU / WI (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland
- ecofys (2007): Energieeffizienz und Solarenergienutzung in der Bauleitplanung; Studie im Auftrag des KLIMA-BÜNDNIS e.V.; Dr. Dagmar Everding (ecofys); Nürnberg
- Ecoinvent Centre (2007): Overview and Methodology; Data v2.0; ecoinvent report No. 1; Dübendorf
- empirica (2001): Alterung der Bevölkerung und Auswirkungen auf den Wohnungsbau; Dr. Jürgen Aring, empirica Bonn
- Enquete-Kommission (Hg.) (2002): Endbericht der Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ des 14. Deutschen Bundestages; Drucksache 14/9400; Bonn: Dt. Bundestag
- EWI / prognos (2005): Energiereport IV. Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030
- FNB [Forum Nachhaltiges Bauen] (2010): Polystyrol XPS – Ökobilanz: <http://www.nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Polystyrol%20XPS> (28.07.2010)
- Giegrich, J. / Ostermayer, A. / Möhler, S. (2006): Indikatoren/Kennzahlen für den Rohstoffverbrauch im Rahmen der Nachhaltigkeitsdiskussion; Forschungsvorhaben des UBA; Förderkennzeichen 20 93 368; vorläufiger Endbericht



- Görlach, Stephanie / Lemken, Thomas / Liedtke, Christa / Onischka, Mathias / Schmidt, Mario / Viere, Tobias (2009): Unternehmensnahe Instrumente; Systematisierung unternehmensnaher Instrumente sowie Grobrasterung und Instrumentenauswahl zur Vorbereitung auf die Phase der Feinanalyse; Arbeitspapier zu Arbeitspaket 4 des Projekts MaRes (Paper 4.1); Wuppertal
- Guinée, Jeroen B. (Hrsg.) (2002): Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards; Band 7; Eco-efficiency in industry and science; Dordrecht u.a.: Kluwer Academic Publishers
- Hake, Jürgen Friedrich / Kleemann, Manfred / Kolb, Gerhard (1999): Klimaschutz durch energetische Sanierung von Gebäuden; Band 1: Seminarreihe. Forschungszentrum Jülich
- Hanke, Thomas / Richter Klaus (2007): Bewertung von CO<sub>2</sub>-Reduktions-Szenarien – Teilbericht: Datengrundlage zukünftiger Klimaschutzberichte; Endbericht an das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung; Bonn
- IER / RWI / ZEW 2009: Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030 (Energieprognose 2009); unveröffentlicht
- ifeu (2010): Fortschreibung und Erweiterung: Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030 (TREMOD, Version 5); Endbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes; Heidelberg.
- ISI [Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung] / Öko-Institut / IBP [Fraunhofer-Institut für Bauphysik] (2005): Energiepass für Gebäude: Evaluation des Feldversuchs; Zusammenfassung der Ergebnisse für die Deutsche Energie-Agentur; Karlsruhe
- IWU [Institut für Wohnen und Umwelt] (2009): Basisdaten für Hochrechnungen mit der Deutschen Gebäudetypologie des IWU;  
[http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/klima\\_altbau/Flaechen\\_Gebaeudetypologie\\_07.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/Flaechen_Gebaeudetypologie_07.pdf) (16.12.09)
- Kleemann, Manfred / Hansen, Patrick (2005): Evaluierung der CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen im Gebäudebereich; Forschungszentrum Jülich
- Kleemann, Manfred / Heckler, Rainer / Kraft, A. / Kuckshinrichs, Wilhelm (2003): Klimaschutz und Beschäftigung durch das KfW-Programm zur CO<sub>2</sub>-Minderung und das KfW-CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm; Forschungszentrum Jülich; 2003
- Kleemann, Manfred / Heckler, Rainer / Krüger, Birgitta (2003): Umweltschutz und Arbeitsplätze, angestoßen durch die Tätigkeiten des Schornsteinfegerhandwerks: Auswertung von Schornsteinfeger-Daten; Forschungszentrum Jülich
- Kleemann Manfred / Heckler, Rainer/ Kolb, Gerhard / Hille, Maren (2000): Die Entwicklung des Wärmemarktes für den Gebäudesektor bis 2050; Forschungszentrum Jülich
- Korytarova, Katarina (2006): Evaluation of KfW Soft Loans for Building Modernisation within the Framework of the AID- EE Project; Contract number EIE-2003-114
- Lehmann, Harry / Stanetzky, Christof (2001): Stoffströme beim Modernisieren: Einsparpotenzial, Konstruktionsvergleiche, Rechenbeispiele; Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen (ILS)
- NEEDS [New Energy Externalities Developments for Sustainability] (2009): The NEEDS Life Cycle Inventory Database; <http://www.isitest.com/needswebdb/> (26.07.10)
- Öko-Institut / prognos 2009: Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken.
- Prittwitz, Volker von (2007): Vergleichende Politikanalyse; 1. Aufl; Utb Lucius & Lucius

- Scholl, Gerd / Baedeker, Carolin / Bietz, Sabine / Kristof, Kora / Otto, Siegmur / Onischka, Matthias / Reisch, Lucia / Rubik, Frieder / Schmitt, Martina (2009): Konsumenten- und kundennahe Instrumente der Ressourcenpolitik; Zusammenfassung der Politikoptionen; Arbeitspaket 12 des Projekts MaRes, Arbeitsschritt 12.1, Version 2 (Paper 12.1); Wuppertal
- Scholl, Gerd / Otto, Siegmur / Kristof, Kora (2009): Abschätzung der möglichen Wirkungen ausgewählter konsumentenbezogener Instrumente der Ressourcenpolitik; internes Arbeitspapier vom 16.09.2000
- Shell Deutschland Oil GmbH (2009): Shell PKW-Szenarien bis 2030; Fakten, Trends und Handlungsoptionen für nachhaltige Auto-Mobilität; Hamburg
- Statistisches Bundesamt (2004): Bautätigkeit und Wohnungen; Mikrozensus – Zusatzerhebung 2002; Statistisches Bundesamt; Wiesbaden
- Statistisches Bundesamt (2006): Bevölkerung Deutschlands bis 2050; 10. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung; Wiesbaden
- VDP [Verband Deutscher Papierfabriken] (2010): Papier Recyclen. <http://www.vdp-online.de/pdf/Papierrecyclen.pdf> (24.09.2010)
- WBGU [Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen] (2009): Kassensturz für den Weltklimavertrag – der Budgetansatz: Sondergutachten 2009; Berlin
- Wuppertal Institut (2008): Befragung im Rahmen der „Ermittlung von länder-, sektor- und technikscharfen Potentialen für nachfrageseitige Energieeffizienz in der EU27 und Erstellung eines internetbasierten Modellierungsinstrumentariums“ im Auftrag der DG TREN (ESD-Potentials) in Zusammenarbeit mit FHG-ISI, Karlsruhe; ISIS-Rom; Enerdata; Grenoble; TU Wien
- Wuppertal Institut (2009): <http://holzwende2020.de/index.php?seite=343> (Stand: Mai 2010)
- Wuppertal Institut / Planungs-Büro Schmitz Aachen (2000): Energiegerechtes Bauen und Modernisieren; Birkhäuser Verlag AG



## 10 Anhang

### Detaillierte Datendokumentation der betrachteten Dämmstoffe

#### Polystyrolextruderschaum (XPS)

**Herstellung:** Extrudierter Polystyrolhartschaum (XPS) wird auf Extrusionsanlagen als kontinuierlicher Schaumstoffstrang hergestellt. Im Extruder wird Polystyrol aufgeschmolzen und nach Zugabe von CO<sub>2</sub> (Kohlendioxid) oder im Ausland teilweise auch noch HFCKW (teilhalogenierter Fluorchlorkohlenwasserstoff) als Treibmittel durch eine Breitschlitzdüse ausgetragen, hinter der sich dann der Schaumstoffstrang aufbaut. Es sind Dicken zwischen 20 und 200 mm herstellbar. Nach Durchlaufen einer Kühlzone wird mit nachgeschalteten Maschinen der Strang zu Platten gesägt und die Randausbildung vorgenommen. Auf den Deckflächen der Platten bleibt die Schäumhaut erhalten. Für den Anwendungsfall „Dämmung unter Putz“ wird entweder die Schäumhaut entfernt, die Platte hat dann eine raue Oberfläche oder erhält eine waffelförmige Prägung der Oberfläche. Nach Konfektionierung werden die Platten bis zur Maßkonstanz abgelagert.

**Eigenschaften:** Extrudierter Polystyrol-Hartschaum ist ein geschlossen-zelliger Schaumstoff und nimmt nur geringe Mengen an Feuchtigkeit auf. XPS ist wenig elastisch, verrottungsfest und alterungsbeständig. Polystyrolextruderschaum ist nicht UV-beständig.

#### **Kennwerte:**

Wärmeleitfähigkeit $\lambda(R)$ :	0,035-0,045 W/(m·K)
spez. Wärmespeicherkapazität $c$ :	1.500 J/(kg·K)
Wasserdampfdiffusionswiderstand $\mu$ :	80-200
Baustoffklasse:	B 1 schwer entflammbar
Temperaturbeständigkeit:	75 °C (langfristig bei 5 kN/m <sup>2</sup> )
Rohdichte $\rho$ :	25-45 kg/m <sup>3</sup>
Druckfestigkeit:	0,15-0,70 N/mm <sup>2</sup> (Druckspannung bei 10% Stauchung nach DIN EN 826) 0,06-0,25 N/mm <sup>2</sup> (Dauerdruckbelastung Stauchung <2%)
Ausdehnungskoeffizient:	6-8 · 10 <sup>-5</sup> 1/K
Primärenergiegehalt:	450-1.000 kWh/m <sup>3</sup>
<b>Anwendung:</b>	Dach: Flachdach, Umkehrdach Decke: Bodendämmung bei hoher Belastung Wand: Sockelbereich Keller: Perimeterdämmung bei Feuchtebelastungen Schwimmbaddämmung lastabtragende Dämmung

**Bemerkungen:** In Deutschland wird XPS nur noch ohne das Treibmittel HFCKW hergestellt.

**Umweltaspekte:** + downrecycling möglich, meist energetische Verwertung  
- im Brandfall können Gefahrstoffe freiwerden, begrenzte Rohstoffe, z.T.  
Verwendung von H-FCKW (gegebenenfalls. Importware), Ausgangsstoffe toxisch

**Normen:**

DIN EN 13164:2001-10

Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus extrudiertem Polystyrolschaum (XPS) - Spezifikation; Deutsche Fassung EN 13164:2001

DIN 18164-1:1992-08,

Schaumkunststoffe als Dämmstoffe für das Bauwesen;

Dämmstoffe für die Wärmedämmung

DIN 18 164-2:2001-09

Schaumkunststoffe als Dämmstoffe für das Bauwesen;

Dämmstoffe für die Trittschalldämmung; Polystyrol-Partikelschaumstoffe

ÖNORM B 6053 XPS-G/-R

ÖNORM EN 13164

Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus extrudiertem Polystyrolschaum - Spezifikation weiterer Infos [FPX Fachvereinigung Polystyrol-Extruderschaumstoff](#) Hersteller [BASF Aktiengesellschaft](#) (Styrodur® C)

[Dow Deutschland GmbH & Co. KG](#) (Styrofoam, Roofmate, Floormate, Perimate, Wallmate)

[Austrotherm Dämmstoffe GmbH](#)

[Gefinex-Jackson Vertriebs-GmbH](#)

## **Zelluloseflocken**

**Herstellung:** Zelluloseflocken werden aus Altpapier durch mechanische Zerkleinerung hergestellt und meist in Säcken ausgeliefert. Durch ein Mahlverfahren erhalten die Flocken dabei eine drei-dimensionale Struktur. Zur Verbesserung des Brandschutzes und als Schutz vor Schimmel werden ca. 12-20% Borsalze zugegeben.

**Eigenschaften:** lose Schüttung, volumenbeständig, sicher vor Ungezieferfraß und Schimmel, nicht druckbelastbar. Zellulose-Flocken werden je nach Anwendung im Eiblasverfahren oder Sprühverfahren eingebracht.

**Kennwerte:**

Wärmeleitfähigkeit  $\lambda(R)$ : 0,035-0,045 W/(m·K)

spez. Wärmespeicherkapazität  $c$ : 1.700-2.150 J/(kg·K)

Wasserdampfdiffusionswiderstand  $\mu$ : 1-2

Baustoffklasse: B 2 normalentflammbar, B 1 schwerentflammbar

Rohdichte: 30-80 kg/m<sup>3</sup>

Primärenergiegehalt: 50 kWh/m<sup>3</sup>

**Anwendung:** Einblasdämmung für Hohlräume  
oder als Aufsprühung bei senkrechten Flächen

Dach: Zwischensparrendämmung

Wand: Holzständerbauweise

**Bemerkungen:** Aus der Gruppe der ökologischen Dämmstoffe besitzt Zellulose bereits einen größeren Anteil im Dämmstoffmarkt.

**Umweltaspekte:**

- + Recyclingrohstoff, bei Herstellung wird wenig Energie benötigt, wiederverwendbar, deponiefähig
- bei Verarbeitung kann Feinstaub freigesetzt werden, der den MAK-Wert überschreitet, nicht kompostierbar (imprägniert)

**Normen:** Für Wärmedämmstoffe aus Zellulosefasern gibt es keine deutsche Stoffnorm.  
ASTM C 208:1995  
Dämmplatten aus Zellulosefasern für Bau- und Dekorationszwecke weitere Infos

**Hersteller:** [CFF GmbH & Co. KG](#) (Thermocel)  
[CWA Cellulose Werk Angelbach GmbH](#) (CLIMACELL)  
[DÄMMSTATT Werf GmbH](#) (DÄMMSTATT's CI 040)  
[HOMANN Dämmstoffwerk GmbH & Co. KG](#) (Homatherm)  
[isofloc Ökologische Baustoffe GmbH](#) (isofloc)

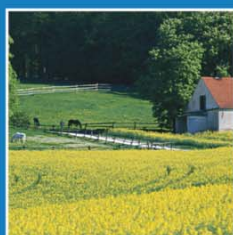
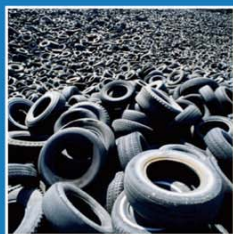
Thomas Hanke  
Ole Soukup  
Peter Viebahn  
Manfred Fishedick

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

## Übertragbarkeit des Bottom-Up Wirkungsanalyse-Modells auf andere Bedarfsfelder

Arbeitsschritt 6.2

Paper zu Arbeitspaket 6 des Projekts  
„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRess)



Wuppertal, Dezember 2010

ISSN 1867-0237

**Kontakt zu den Autor(inn)en:**

Ole Soukup

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH  
Döppersberg 19, 42103 Wuppertal

Tel.: +49 (0) 202 2492 -285, Fax: -198  
Mail: [ole.soukup@wupperinst.org](mailto:ole.soukup@wupperinst.org)

*„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“  
(MaRes) – Projekt im Auftrag des BMU | UBA*

**Projektlaufzeit:** 07/2007 – 12/2010

**Projektleitung:**

Dr. Kora Kristof / Prof. Dr. Peter Hennicke

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH  
42103 Wuppertal, Döppersberg 19

Tel.: +49 (0) 202 2492 -183 / -136, Fax: -198 / -145  
Mail: [kora.kristof@wupperinst.org](mailto:kora.kristof@wupperinst.org)  
[peter.hennicke@wupperinst.org](mailto:peter.hennicke@wupperinst.org)

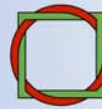
© Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

Weitere Informationen zum Projekt

„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)  
finden Sie unter **[www.ressourcen.wupperinst.org](http://www.ressourcen.wupperinst.org)**

Gefördert wird das Vorhaben im Rahmen des UFOPLAN  
durch das BMU und das UBA, Förderkennzeichen: 3707 93 300

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung  
liegt bei den Autor(inn)en.



**Wuppertal Institut**  
für Klima, Umwelt, Energie  
GmbH

**Wuppertal Institut**  
in Kooperation mit

BASF  
Borderstep  
CSCP  
Daimler  
demea – VDI / VDE-IT  
ECN  
EFA NRW  
FhG IAO  
FhG UMSICHT  
FU Berlin  
GoYa!  
GWS  
Hochschule Pforzheim  
IFEU  
Institut für Verbraucherjournalismus  
IÖW  
IZT  
MediaCompany  
Ökopol  
RWTH Aachen  
SRH Hochschule Calw  
Stiftung Warentest  
ThyssenKrupp  
Trifolium  
TU Berlin  
TU Darmstadt  
TU Dresden  
Universität Kassel  
Universität Lüneburg  
ZEW



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

**Umwelt  
Bundes  
Amt**   
Für Mensch und Umwelt

# **„Übertragbarkeit des Bottom-Up Wirkungsanalyse-Modells auf andere Bedarfsfelder“**

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Auswahl umweltrelevanter Bedarfsfelder des privaten Konsums</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Das MaRes-Modellkonzept im Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“</b>	<b>5</b>
3.1	Exkurs: Die systematische Analyse von Wirkungen innerhalb eines Systems	5
3.2	Modellaufbau des MaRes Bottom-Up Wirkungsanalyse-Modells	7
<b>4</b>	<b>Analyse der Übertragbarkeit des Modellkonzeptes auf die Bedarfsfelder „Mobilität“ und „Ernährung“</b>	<b>10</b>
4.1	Bedingungen	10
4.1.1	Verfügbarkeit quantitativer Kennzahlen	10
4.1.2	Verfügbarkeit von Technologiemoellen	13
4.1.3	Verfügbarkeit von Lebenszyklusdaten	16
4.1.4	Verfügbarkeit quantifizierbarer Politikinstrumente zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs	19
4.2	Exemplarische Parametrisierung von Bedarfsfeldern	21
<b>5</b>	<b>Fazit</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>Literatur</b>	<b>23</b>

## Abbildungen

Abb. 1:	Anteile der Bedarfsfelder am Globalen Materialaufwand [in 1.000t TMR] - Induzierter direkter und indirekter TMR durch die inländische Produktion für die privaten Haushalte Deutschlands im Jahr 2000	4
Abb. 2:	Beispielsweise Verteilung entstandener Treibhausgasemissionen in den Bereichen Wohnen, Mobilität, Ernährung und privater Konsum (auf Verursacherbereiche) im Jahr 2002	5
Abb. 3:	Modellkonzept am Beispiel des Bedarfsfeldes „Warmer Wohnraum“	8
Abb. 4:	Entwicklung des Heizenergieverbrauches und der Effizienzstufen im Zeitverlauf	11
Abb. 5:	Entwicklung des Flottenverbrauchs in Deutschland nach Benzin- und Diesel-Antrieben in [Liter pro 100 Kilometer]	12
Abb. 6:	Ebenen und Modellierungsrichtung der Energieumwandlungskette am Beispiel des Bedarfsfeldes „Warmer Wohnraum“	14
Abb. 7:	Lebenszyklus eines Gebäudes (sortiert nach Nutzungsart in Jahren)	17
Abb. 8:	Wirkungsebenen von Politikinstrumenten und deren Erreichbarkeit durch Bottom-Up Modelle (hier am Beispiel des Bedarfsfeldes „Warmer Wohnraum“)	20

## Tabellen

Tab. 1:	Historische Betrachtung der „Aufwandszahl“ zur Deckung der Bedarfsfelder „Warmer Wohnraum“, „Mobilität“ und „Ernährung“	13
Tab. 2:	Vergleich einer (exemplarischen) Parametrisierung der Bedarfsfelder „Warmer Wohnraum“, „Mobilität“ und „Ernährung“	21



## 1 Einleitung

Im Rahmen des Arbeitsschrittes 6.2 ist ein „Bottom-Up Wirkungsanalyse-Modell“ aus der Kombination des WI-eigenen Modells *Household Energy and Appliances Modelling Tool* (HEAT) und einem mit der Software Umberto erstellten Stoffstrommodell erarbeitet worden. Mit ihm wird eine Analyse der Wirkungszusammenhänge zwischen Politikmaßnahmen im Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ und dadurch ausgelösten Effekten auf der Energie- und Ressourcenseite möglich. Das vorliegende Arbeitspapier untersucht die Fragestellung, ob die wesentlichen Grundprinzipien, die dem entwickelten Modell zu Grunde liegen, auch auf andere Bedarfsfelder übertragbar sind.

Im Folgenden wird zunächst der Untersuchungsgegenstand dieser Analyse definiert. Hierfür werden in Ergänzung zum exemplarischen Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ weitere Bedarfsfelder bestimmt, die „Hot-Spot“-Bereiche darstellen und sich daher als Zielsystem für die Analyse der Übertragbarkeit der vorhandenen Modellstruktur eignen. Ausgewählt werden die Bereiche „Mobilität“ und „Ernährung“, wobei auf vergleichende Aussagen zu Ressourcenintensität und Treibhausgas-Emissionen verschiedener Bedarfsfelder des privaten Konsums abgestellt wird.

Nach einer Beschreibung des zugrunde liegenden Modellkonzepts für das exemplarische Bedarfsfeld („Warmer Wohnraum“) werden Kriterien erarbeitet, die als Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung der Modellierungsvorhaben in diesem Bedarfsfeld bezeichnet werden können. Hierzu gehört etwa die Verfügbarkeit quantitativer Kennzahlen (z.B. Endenergiebedarf pro m<sup>2</sup> Wohnfläche) als Grundlage für die Definition zielorientierter Szenarien.

Die zuvor bestimmten Kriterien stellen die Grundbedingungen für die Übertragbarkeit des gewählten Modellkonzepts dar. Es wird daher in einem weiteren Schritt geprüft, ob und wie diese Bedingungen auch innerhalb der Bedarfsfelder „Mobilität“ und „Ernährung“ erfüllt werden können.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden in einer Abschlussbetrachtung zusammengefasst.

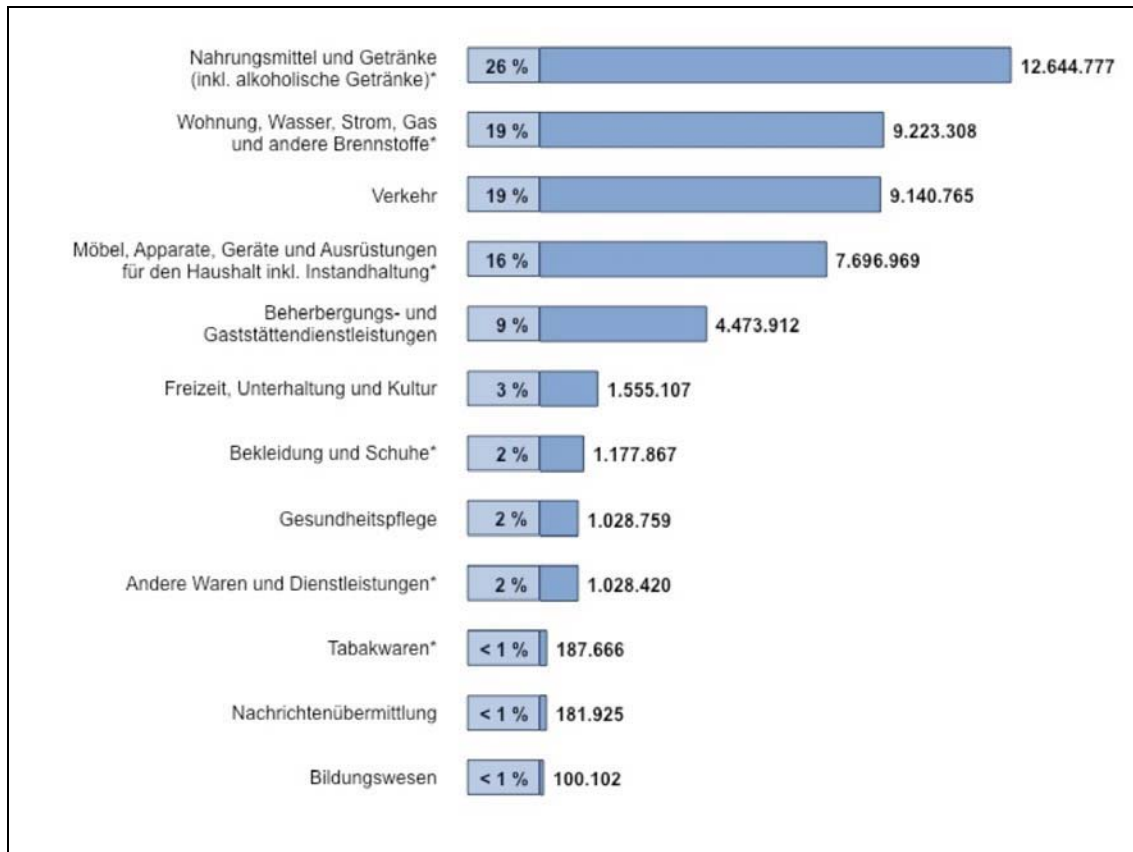
## 2 Auswahl umweltrelevanter Bedarfsfelder des privaten Konsums

Von verschiedenen in Frage kommenden Bedarfsfeldern (zum Beispiel „Bauen und Wohnen“, „Mobilität“, „Freizeit“, „Gesundheit“ und „Ernährung“) wurde für die Entwicklung eines Bottom-Up Wirkungsanalyse-Modells in AS6.2 das Bedarfsfeld „Bauen und Wohnen“ und hierin das Teil-Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ ausgewählt. Für die Auswahl dieses Bedarfsfeldes waren verschiedene Gründe ausschlaggebend. Insbesondere wurde vorausgesetzt, dass es sich bei dem gewählten Bedarfsfeld hinsichtlich verschiedener ökologischer Bewertungsmaßstäbe um einen Hot-Spot-Bereich handelt. Hierfür wurden Einschätzungen des globalen Materialaufwands und der Treibhausgasemissionen von Bedarfsfeldern berücksichtigt.



Auf Grundlage der zuvor genannten Kriterien wurden auch die weiteren Bedarfsfelder ausgewählt, die hier auf ihre Eignung zur Übertragung des erarbeiteten Modellkonzepts überprüft werden.

Abb. 1: Anteile der Bedarfsfelder am Globalen Materialaufwand [in 1.000t TMR] - Induzierter direkter und indirekter TMR durch die inländische Produktion für die privaten Haushalte Deutschlands im Jahr 2000



\*) Globaler Materialaufwand (= Total Material Requirement = TMR)

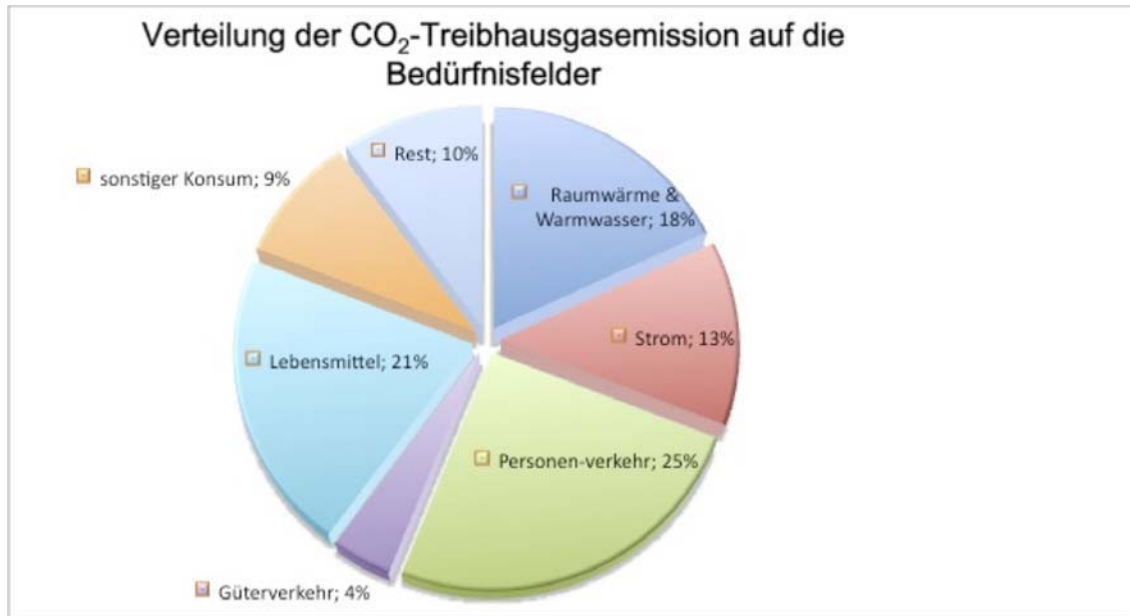
Quelle: Acosta-Fernandez et al. (2009)

Der globale Materialaufwand (TMR = Total Material Requirement) beschreibt den absoluten Stoff- beziehungsweise Materialmengenstrom, der durch einen bestimmten Bedarf ausgelöst wird. Hier werden auch die indirekten Ströme mitbilanziert, so dass die gesamte Wirkungskette enthalten ist (auch als „ökologischer Rucksack“ bezeichnet). Abb. 1 zeigt die Anteile der Bedarfsfelder am globalen Materialaufwand. Die Gesamtmaterialmenge betrug im Jahr 2000 48.439 Mio. t TMR, wobei neben dem Bedarfsfeld „Wohnung, Wasser, Strom und Gas“ mit 19% die Nahrungsmittelproduktion (26%) und der Verkehr (19%) die drei Hot-Spots des privaten Konsums darstellen.

Übersetzt in eine vergleichbare Darstellung aus Sicht von direkten und indirekten Treibhausgasemissionen für das Jahr 2002 durch Befriedigung von Bedürfnissen der privaten Haushalte, sind auch hier die schon im Zusammenhang mit dem TMR genannten Hot-Spots zu finden (Abb. 2): Die Deckung des Bedarfs an Raumheizung und Warmwasser verursacht ca. 18% der entstandenen Treibhausgase, während an der

Spitze der Personverkehr (25%) und die Deckung der Lebensmittelnachfrage (21%) stehen.

Abb. 2: Beispielsweise Verteilung entstandener Treibhausgasemissionen in den Bereichen Wohnen, Mobilität, Ernährung und privater Konsum (auf Verursacherbereiche) im Jahr 2002



Quelle: Öko-Institut (2002)

Basierend auf der zuvor geschilderten ökologischen Bedeutung der beiden Bedarfsfelder „Mobilität“ und „Ernährung“ und des damit verbundenen hohen (theoretischen) Potenzials zur Einsparung von Ressourcen- und Energiebedarf sowie zur Emissionsminderung wurden diese Bedürfnisfelder als Grundlage für die hier durchgeführte Übertragbarkeitsanalyse gewählt.

### 3 Das MaRes-Modellkonzept im Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“

#### 3.1 Exkurs: Die systematische Analyse von Wirkungen innerhalb eines Systems

Die Versorgung der Menschen mit Energie (d.h. mit Strom und Wärme) ist ein höchst komplexer Vorgang, der ein Zusammenspiel der unterschiedlichsten Stellgrößen auf höchst unterschiedlichen Ebenen erfordert. Bei solch komplexen Systemen (mit nicht linearen Zusammenhängen, Speichereffekten, Rückkopplungen, menschlichem Verhalten usw.) wie beispielsweise der Bevölkerungsentwicklung und der Wohnungsbautätigkeit ist eine Einschätzung der möglichen zukünftigen Entwicklungen nur mit Hilfe eines verhaltensklärenden, strukturgültigen (computerisierten) Simulationsmodells möglich.

Ausgang für jede Simulation ist die Formulierung eines Modells der zu betrachtenden Wirklichkeit. Diese Modelle werden zunächst nur verbal umschrieben, dann in mathematische Regeln gefasst und in eine Programmiersprache übersetzt. Anschließend wird die Gültigkeit des Modells anhand der bisherigen Entwicklung überprüft. Mit der strukturgetreuen Beschreibung des Systems, den Daten für seinen Anfangszustand und der Vorgabe externer Einwirkungen über den interessierenden Zeitraum in Form von mehreren Szenarien ist es dann möglich, die jeweils zu erwartenden Entwicklungen zu bestimmen.

Eine Wirkungsabschätzung soll helfen, Ursachen und deren Entwicklungen, die durch ihre stark vernetzte Struktur nicht ohne weiteres ersichtlich sind, zu entdecken. Fortschreibungen aus der Vergangenheit reichen dazu oft nicht aus. Es müssen die im System angelegten strukturellen Wirkungsvorgänge untersucht werden. Die wirkungs- und entwicklungsbestimmende Systemstruktur muss sich auch in der Darstellung der Folgenabschätzung wiederfinden. Es gilt also, die verhaltensrelevanten Verknüpfungen zu identifizieren und zu beschreiben.

Um eine realistische Beschreibung des wahrscheinlichen Systemverhaltens zu bekommen, müssen über die äußeren Einflüsse oder internen Strukturverschiebungen Annahmen gemacht werden. Diese Annahmen betreffen die Art, den Zeitpunkt (oder die zeitliche Verteilung) und die Stärke von äußeren Einwirkungen oder Ereignissen. Im Allgemeinen wird es sich um eine Vielzahl von möglichen Einflüssen handeln, die zunächst in beliebiger Kombination eintreten können. Eine vollständige Untersuchung beliebiger Kombinationen ist dabei aussichtslos. In der Praxis der Bedarfs- und Folgenabschätzung wird die Vielfalt der möglichen Kombinationen externer Einwirkungen in Szenarien zusammengefasst. Ein Szenario steht dabei unter einer bestimmten Leitidee, an der sich die Auswahl der Art und Stärke der äußeren Einwirkungen orientiert. Diese Leitidee, in der Kurzbeschreibung des Szenarios und meist auch in seinem Titel festgehalten, bestimmt die Grundzüge der externen Entwicklung und wird benutzt, um einen im Rahmen dieser Grundannahmen plausiblen und in sich konsistenten Satz von externen Parametern abzuleiten. Die Annahmen des Szenarios sollten relativ bruchlos an die historische Entwicklung anknüpfen.

Szenarien sind jedoch keine genauen Vorhersagen, sondern stellen alternative Bilder dar, die über mögliche Zukunftsentwicklungen Aufschluss geben können. Szenario-Analysen unterscheiden sich somit gegenüber Prognosen darin, dass sie nicht die unsichere Entwicklung der Zukunft vorhersagen wollen. Bei der Beschreibung verschiedener Szenarien, die auf unterschiedlichen Annahmen beruhen, werden ausdrücklich keine Angaben über die Wahrscheinlichkeit der einzelnen Varianten gemacht. Sie sind somit ein angemessenes Werkzeug, um die Auswirkungen verschiedener Instrumente auf zukünftige ökonomische, soziale und ökologische Parameter zu analysieren.

Die Simulationsergebnisse der Szenarien stellen eine Bandbreite möglicher Alternativen und Zukünfte dar. Die Vielfalt zukünftiger Ereignisse lässt sich durch Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen und Plausibilitätsanalysen eingrenzen. Eine weitere Eingrenzung ergibt sich aus den Leitlinien des betrachteten Szenarios. Schließlich kann davon ausgegangen werden, dass sich das Verhalten der Akteure in und außerhalb

des Systems an (Eigen-)Interessen orientiert, so dass gewisse Verhaltensweisen wesentlich wahrscheinlicher sind als andere und weitere aus der Betrachtung völlig ausgeklammert werden können. Dies setzt jedoch elementare Grundkenntnisse über Wirkungssysteme des Systems und zumindest das Bemühen um eine verzerrungsfreie Erfassung der Wirklichkeit der Akteure voraus.

### **3.2 Modellaufbau des MaRes Bottom-Up Wirkungsanalyse-Modells**

Ziel des Arbeitsschrittes 6.2 war es, am Beispiel eines ausgewählten Bedarfsfeldes beispielhaft zu analysieren, wie sich Politikansätze zur Erhöhung der Ressourceneffizienz in der Summe auf die Ressourcenbilanz auswirken und mit welchem Erfolg sie umgesetzt werden könnten. Zu diesem Zweck wurde nach dem zuvor beschriebenen Modellansatz ein Bottom-Up Wirkungsanalyse-Modell entwickelt (vgl. Abb. 3), das sich in folgende wesentliche Bestandteile gliedert:

#### **Modul 1: Modellierung des Bedarfsfelds „Warmer Wohnraum“ mit *HEAT***

Das EDV-System *HEAT* dient der Energie- und Emissionsbilanzierung und dem -monitoring im Haushaltssektor und enthält neben einer differenzierten Haushaltsgeräteseite zur Ermittlung des Strombedarfes auf der Wärmeseite eine bauteilspezifische Modellierung des Gebäudebestands Deutschlands. Sie lässt sich an regionale und datentechnische Anforderungen anpassen und kann in ihrer größten Ausprägung 64 Gebäudetypen differenzieren.

Innerhalb dieses Technologiemoells wird in einer Langfristbetrachtung bis zum Jahr 2050 für verschiedene Szenarien, die sich aus ressourcenpolitischen Vorgaben ableiten, die Entwicklung des Endenergiebedarfs für den Wohnungssektor modelliert, aufgeteilt nach Energiearten. Gleichzeitig wird die direkte Nachfrage nach Dämmstoffen ermittelt, wobei zum Beispiel bei der Berechnung von Dämmstoffmengen eine Auswertung der prognostizierten Anforderungen an Wärmedurchgangskoeffizienten von Gebäudehüllen erfolgt. Betrachtet wird der gesamte Gebäudebestand inklusive Zu- und Abgängen in Deutschland zu den jeweiligen Zeitpunkten 2005, 2010, 2020, 2030, 2040 und 2050.

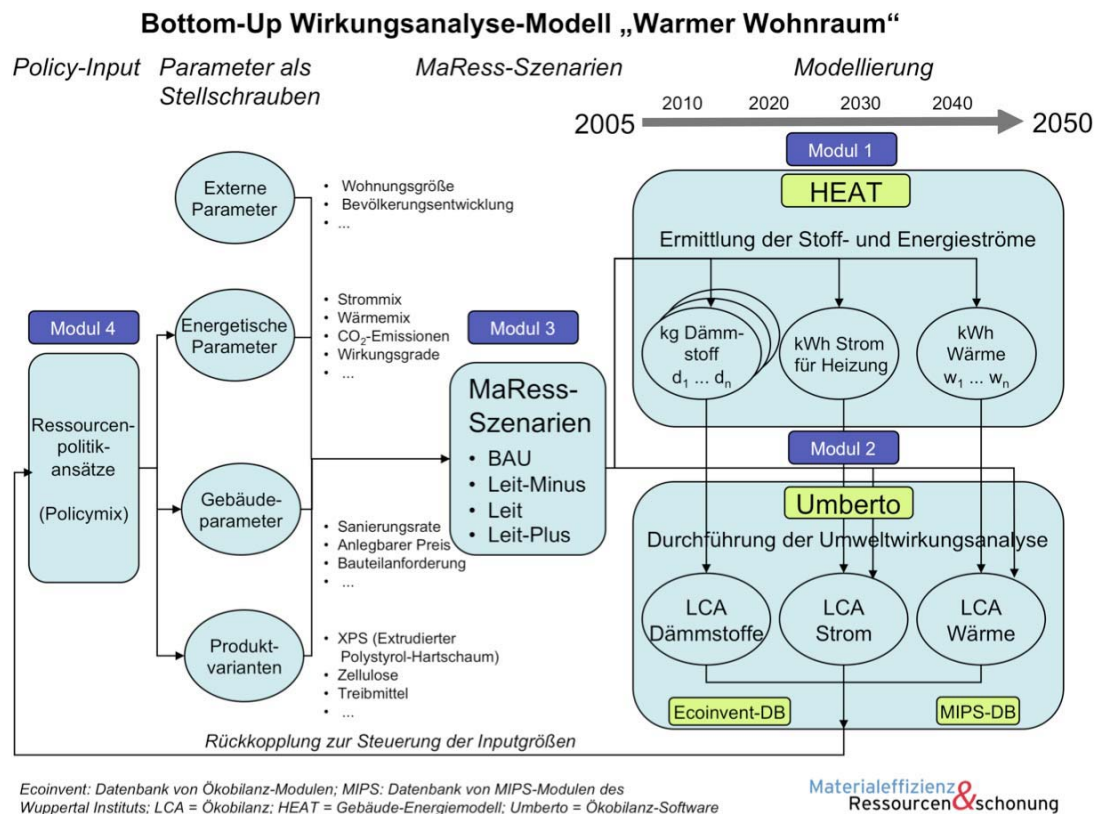
#### **Modul 2: Umweltwirkungsanalyse**

Die mit *HEAT* berechneten Mengen aus jährlichem Zubau an Dämmstoffen und jährlichem Endenergie-Einsatz in Heizungssystemen im gesamten Gebäudebestand werden anschließend in Stoff- und Energieflussmodelle eingespeist, die mit der Software Umberto erstellt werden. Zur Ermittlung ihrer Umweltwirkungen werden Ökobilanzen (LCA = Life Cycle Assessment) in Anlehnung an (DIN 2006a,b) erstellt.

Die Bilanzergebnisse werden schließlich einer Umweltwirkungsabschätzung unterzogen, wodurch eine ökologische Gesamtbewertung von eingesetzten Materialien und Energiemengen an Hand verschiedener Umweltwirkungsindikatoren und unter Berücksichtigung der jeweiligen Bereitstellungsvorketten möglich wird. Verwendet wird die CML-Methode (Guinée et al. 2002:63ff), die über eine breite internationale Anwender-

schaft verfügt und sich dadurch auszeichnet, dass sie eine Vielzahl unterschiedlicher Beeinflussungen verschiedener Umweltmedien abdeckt. Diese beinhalten Wirkungskategorien auf der Emissionsseite (z.B. Ökotoxizität und Klimawirkung) und auf der Inputseite (Erschöpfung abiotischer Ressourcen und Landverbrauch).

Abb. 3: Modellkonzept am Beispiel des Bedarfsfeldes „Warmer Wohnraum“



Quelle: Eigene Entwicklung

Diese beiden ressourcenseitigen Indikatoren liefern Hinweise auf die Belastung von Energie-, Material- und Flächenressourcen durch das Produktsystem. Das Erschöpfungspotenzial berücksichtigt jedoch nicht den Gesamtumfang abiotischer und biotischer Ressourcenentnahme. Hierzu bedarf es der zusätzlichen Erfassung des „ökologischen Rucksacks“ über die Indikatoren MIPS (Materialintensität pro Serviceeinheit) bzw. TMR (einer der Hauptkategorien von MIPS). Da derzeit jedoch keine konsistente Bilanzierung unter Einbezug sowohl von Ökobilanz-Indikatoren als auch von MIPS-Indikatoren möglich ist, werden nur in einer Sensitivitätsanalyse an einem Fall ergänzend Materialintensitäten mit MIPS berechnet.

### Modul 3: MaRes-Szenarien

Die Modellierung innerhalb von HEAT und Umberto basiert auf der Definition und Ausgestaltung verschiedener „MaRes Szenarien“. Diese beschreiben – in einer Langfristsperspektive – mögliche Entwicklungspfade zur Reduzierung des Energiebedarfs (und damit energetischer Ressourcen) des privaten Gebäudesektors. Die Szenarien span-



nen einen Fächer zwischen niedriger und sehr hoher (politischer) Eingriffstiefe auf. Sie sind zunächst am Instrumentarium der Energiemodellierung orientiert, da hier jahrzehntelange Erfahrung und konkrete politische Vorgaben beziehungsweise Absichtserklärungen vorliegen.

#### **Modul 4: Policymix und Einflussparameter**

Treiber für die verschiedenen Szenarien sind entsprechende Einflussparameter, die sich durch den Policymix einer Ressourcenpolitik ergeben. Diese auch als Stellschrauben bezeichneten Größen bestimmen den Fächer an Szenarien, der eine Bandbreite möglicher Entwicklungen bis zum Jahr 2050 aufzeigt. Hierzu zählen

- *Externe Parameter:* Unter den allgemeinen betrachteten, nichtenergetischen Treibergrößen sind Rahmenindikatoren zusammengefasst, die eine allgemeine wirtschaftliche oder gesellschaftliche Entwicklung widerspiegeln und für alle Szenarien gleich gelten. Zu ihnen gehören etwa die demographische Entwicklung und die damit einhergehende Wohnflächenentwicklung, die Entwicklung der Bauteilstandards selbst (da die Güte der jeweiligen Standards innerhalb der Szenarien nicht variiert werden, sondern nur deren Marktanteile) sowie die Wirkungen von flankierenden Maßnahmen auf die Sanierungsraten.
- *Energetische Parameter:* Für alle MaRess-Szenarien wurden Annahmen zur Entwicklung des Strommixes und des Wärmemixes in den Stützjahren getroffen. Der jeweilige Strommix wird im Stoffstrommodell dem direkten Strombedarf der Herstellung von Dämmstoffen sowie der Nutzung von Strom zu Heizzwecken zu Grunde gelegt. Der Wärmemix geht in die Bilanzierung der Herstellung von Wärme und Warmwasser in den Haushalten ein.
- *Gebäudeparameter:* Neben den Annahmen, die die Energieszenarien direkt betreffen, wurden für jedes Szenario weitere Annahmen zur Modellierung der jeweiligen Energieverbräuche im Wohnsektor getroffen wie etwa die zu erwartende Sanierungsrate im Gebäudebestand, Anforderungen an Bauteilbeschaffenheiten oder anlegbare Preise bezogen auf die Kosten von Sanierungsmaßnahmen.
- *Produktvarianten:* Als Sensitivitätsanalysen wurden eine Variation des Dämmstoffes sowie die Zusammensetzung der für die Herstellung des Dämmstoffs XPS benötigten Treibmittel modelliert. Generell können bei den Produktvarianten zukünftig in Produktionsprozessen zu erwartende Veränderungen (ausgelöst zum Beispiel durch technische Innovationen, durch Reduktion des Material- und Energieeinsatzes oder durch Substitution einzelner Produkte durch Ersatzstoffe) berücksichtigt werden.

Das Policymix-Modul 4 bekommt schließlich von Modul 2 über den zeitlichen Verlauf verschiedener Wirkungsindikatoren den Grad der Zielerreichung der ursprünglichen Politikansätze zurückgemeldet. Hierdurch wird es möglich, bei Verfehlen der Zielmarken die Politikansätze zu justieren und zu optimieren und die MaRess-Szenarien entsprechend anzupassen.

## **4 Analyse der Übertragbarkeit des Modellkonzeptes auf die Bedarfsfelder „Mobilität“ und „Ernährung“**

### **4.1 Bedingungen**

Aus der vorangegangenen Modellbeschreibung lässt sich ableiten, dass gewisse Kriterien erfüllt sein müssen, um die erfolgreiche Umsetzung der Modellierungsvorhaben im Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ zu ermöglichen. Als wesentliche Kriterien haben sich hierbei folgende Punkte erwiesen:

- Verfügbarkeit quantitativer Kennzahlen, die Schlüsselgrößen des Bedarfsfeldes darstellen und in Szenarien fortschreibbar sind
- Verfügbarkeit eines Technologiemoells
- Verfügbarkeit von Lebenszyklusdaten (ressourcen- und emissionsbezogen und integriert in Standard-Software)
- Verfügbarkeit quantifizierbarer Politikinstrumente (Maßnahmen zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs)

Diese Kriterien stellen auch die Grundbedingungen für die Übertragbarkeit des gewählten Modellkonzeptes dar. Sie werden daher im Folgenden mit Bezug auf das Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ beschrieben, bevor geprüft wird, ob und wie diese Bedingungen im Einzelnen auch innerhalb der Bedarfsfelder „Mobilität“ und „Ernährung“ erfüllt werden können.

#### **4.1.1 Verfügbarkeit quantitativer Kennzahlen**

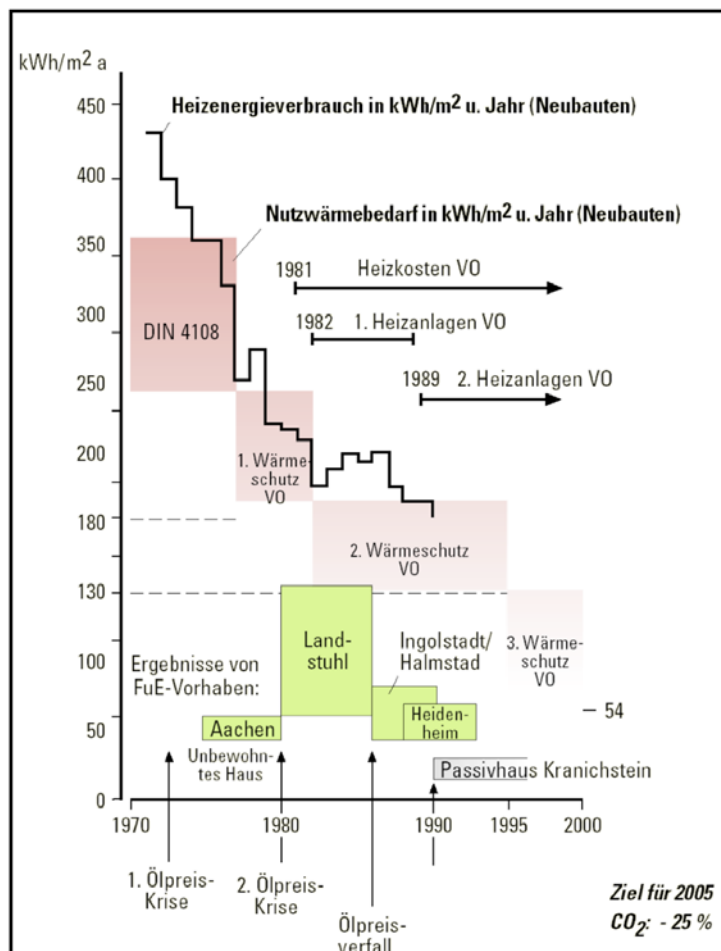
##### **Warmer Wohnraum**

Seit der Ölpreiskrise der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts ist der Energieverbrauch mehr und mehr in den Mittelpunkt der Betrachtung gerückt.

Im Bereich „Warmer Wohnraum“ hatte dies zur Folge, dass der spezifische Kennwert Kilowattstunden pro Quadratmeter Wohnfläche ( $\text{kWh/m}^2$ ) zu einem Gradmesser der energetischen Qualität geworden. Eine detaillierte Betrachtung des Bedarfsfeld „Warmer Wohnraum“ zeigt, dass hier seit den 70er Jahren über gesetzliche Regelungen versucht wurde, Obergrenzen für Energieverluste und Energieverbräuche festzulegen (vgl. Abb. 4). Diesen Zweck sollten etwa Wärmeschutzverordnung, Heizanlagenverordnung und Energie-Einsparverordnung erfüllen. Allerdings legen erste Studien nahe, dass neben Energie-Effizienzgewinnen, die durch den Einsatz von Dämmstoffen erreicht werden, auch die Ressourcenaufwendungen in der Herstellungsphase der Bau- und Dämmstoffe betrachtet werden müssen (Wallbaum 2002; Wuppertal Institut 2000; Wuppertal Institut 2003, Mötzel / Zelger 2008) .



Abb. 4: Entwicklung des Heizenergieverbrauches und der Effizienzstufen im Zeitverlauf



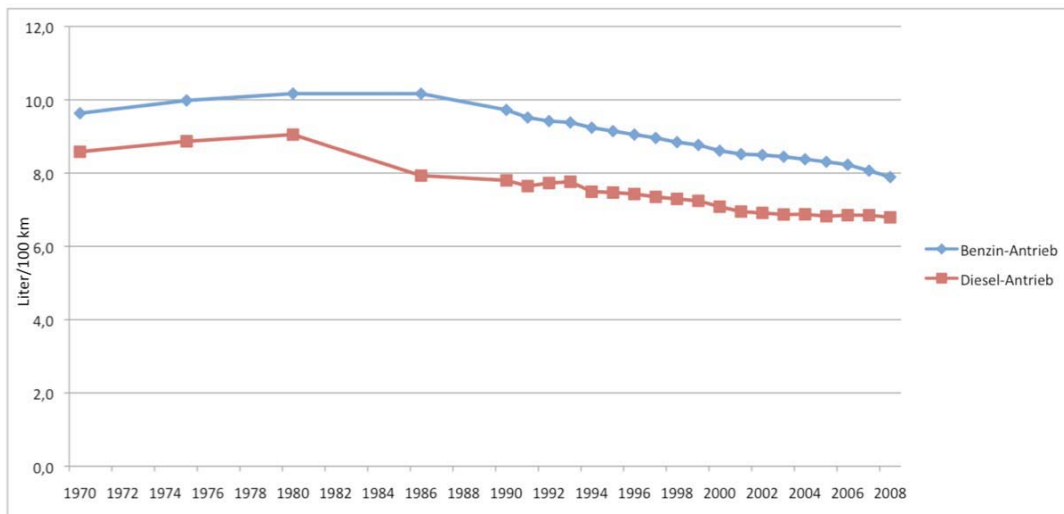
Quelle: Enquete-Kommission (1995:368)

## Mobilität

Auch im Verkehrsbereich wurde ein quantitativer Leitindikator entwickelt, der den spezifischen Verbrauch zur Deckung des übergeordneten Bedürfnisses „Mobilität“ beschreibt – ausgedrückt in der Verbrauchseinheit Liter Treibstoff pro gefahrene 100 Kilometer.

Mit dem „Flottenverbrauch“ entwickelte sich ein Kennwert, der die spezifischen Verbräuche des Bestandes bzw. einer Fahrzeugklasse widerspiegelt und über dessen Zeitverlauf sich auch die technologische Entwicklung ablesen lässt. Wie Abb. 5 illustriert, stieg der durchschnittliche Verbrauch bei Benzin-Antrieben durch die starke Übermotorisierung noch bis 1984-1986 auf über 10 Liter/100 km an, um dann bis zum Jahr 2008 bei ca. 8 Litern/100 km zu stagnieren. Den technologischen Sprung schafften die Diesel-Antriebe schon am Beginn der 80er Jahre, die den durchschnittlichen Verbrauch ab dem Zeitpunkt von 9 Liter/100 km auf ca. 7 Liter/100 km im Jahr 2008 reduzierten.

Abb. 5: Entwicklung des Flottenverbrauchs in Deutschland nach Benzin- und Diesel-Antrieben in [Liter pro 100 Kilometer]



Quelle: DIW (2009)

Bei der Quantifizierung der wichtigen Leitindikatoren sind bei den beiden Bedarfsfeldern „Warmer Wohnraum“ und „Mobilität“ gewisse Parallelen feststellbar. So kann an ihnen eine „Aufwandszahl“ als Bewertungssystem abgeleitet werden, die direkt für den Aufwand bzw. für die (technische) Effizienz zur Deckung einer Serviceleistung steht und die den Übergang einer nicht-energetischen Größe (Quadratmeter beheizter Wohnraum bzw. zurückzulegende Personen- oder Tonnenkilometer) zu einer energetischen Größe modellierbar macht (Tab. 1). Auf dieser in beiden Bedürfnisfeldern möglichen Bestimmung der direkten Endenergienachfrage kann aufgesetzt werden, um in einer weitergehenden Analyse auch lebenszyklusweite Umweltwirkungen zu betrachten.

## Ernährung

Die Wahrnehmung und Beschreibung eines direkten Wirkungszusammenhangs zwischen Serviceleistung und energetischem Aufwand hat sich dagegen im Bedarfsfeld „Ernährung“ bisher nicht etabliert: Während beispielsweise PKW und Immobilien auf Grund gesetzlicher Vorgaben mit einer Energieeffizienz-Kennzahl versehen werden müssen, gibt es für Lebensmittel keine vergleichbare Kennzeichnungspflicht. Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass der Verzehr von Nahrungsmitteln für den Verbraucher erkennbar nur geringen Energie- oder Ressourcenaufwand verursacht. Der Großteil des energetischen und stofflichen Aufwandes wird hier erst unter Berücksichtigung von Bereitstellungsvorketten sichtbar – und somit etwa unter Einbeziehung der Düngemittelproduktion, des Anbaus pflanzlicher Nahrungsmittel, der Viehzucht und der verarbeitenden Industrie. Nur vereinzelt werden daher bisher Effizienzkennzahlen für Lebensmittel bestimmt, die etwa den Primärenergieaufwand pro kg Produkt oder pro Nahrungsenergieertrag bewerten (vgl. z.B. Woitowitz 2007).

Für die Übertragbarkeit bedeutet dies, dass im Bedarfsfeld Ernährung mit einem deutlich erhöhten Aufwand in der Datenerhebung und der Bestimmung quantitativer Aufwands-Kennzahlen zu rechnen ist.

Tab. 1: Historische Betrachtung der „Aufwandszahl“ zur Deckung der Bedarfsfelder „Warmer Wohnraum“, „Mobilität“ und „Ernährung“

Bedarfsfeld	Entstehung und Quantifizierung der Aufwandszahl zur Deckung des Bedürfnisses als Bewertungssystem für Ressourceneffizienz	Erforderliche (erweiterte) Blickweite unter Einbeziehung der gesamten Lebenszyklen
Warmer Wohnraum	<b>1. Quadratmeterbezogener Energieverbrauch</b> $\frac{\text{Verbrauch [kWh]}}{\text{Wohnfläche [m}^2\text{]}}$	<b>MIPS (TMR):</b> $\frac{\text{Materialinput}}{\text{Serviceleistung}}$
Mobilität (Individualverkehr)	<b>1. Entfernungsbezogener Verbrauchskennwert</b> $\frac{\text{Verbrauch [Liter]}}{\text{Gefahrene Strecke [km * 100]}}$ <b>2. Personenbezogener Verbrauchskennwert</b> $\frac{\text{Verbrauch [Liter]}}{\text{Gefahrene Strecke * Personen [km * Pers]}}$ <b>3. Güterbezogener Verbrauchskennwert</b> $\frac{\text{Verbrauch [Liter]}}{\text{Gefahrene Strecke * Güteraufkommen [km * Tonnen]}}$	
Ernährung	<b>Fehlender Kennwert als Bewertungszahl</b>	

Quelle: Eigene Darstellung.

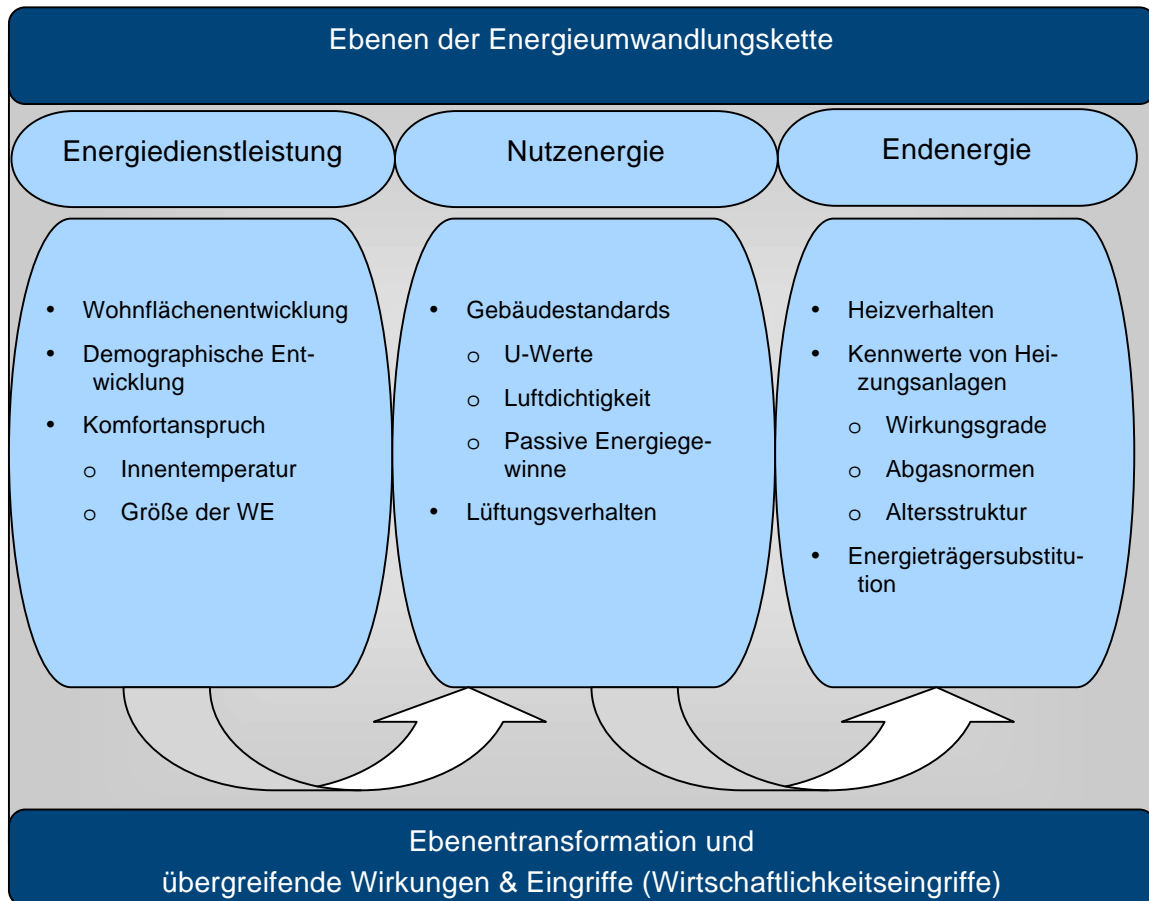
#### 4.1.2 Verfügbarkeit von Technologiemoellen

##### Warmer Wohnraum

In der Modellierung des Bedarfsfeldes „Warmer Wohnraum“ ist der zuvor beschriebene Wirkungszusammenhang zwischen nichtenergetischer Dienstleistung und energetischer Größe zentral für die Entwicklung des Technologiemoells HEAT (vgl. Kapitel 3.2). Die Wege von Energieträgern und anderen Materialien fließen im untersuchten System rein *mengenmäßig* von der Ressource zu den Dienstleistungen, die von den Akteuren der Endnachfrage genutzt werden. Modellierungsrichtung und -ansatz des Modells erfolgen dagegen in der entgegen gesetzten Richtung, was in Abb. 6 verdeutlicht wird. Über die eigentliche Nachfrage (Dienstleistung) nach einer verträglichen Rauminnentemperatur (nicht zu heiß und nicht zu kalt) wird durch verschiedene Tech-

nologieeinsätze (hier verschiedene Heizungssysteme) die nicht-energetische Dienstleistung in eine Energieeinheit bzw. in eine Ressource überführt.

Abb. 6: Ebenen und Modellierungsrichtung der Energieumwandlungskette am Beispiel des Bedarfsfeldes „Warmer Wohnraum“



Quelle: Eigene Darstellung

## Mobilität

Das Bedarfsfeld „Mobilität“ lässt sich nach dem gleichen Prinzip modellieren. Über die technologiebasierten Eingangsgrößen des Modal-Split (Verteilung des Transportaufkommens auf verschiedene Verkehrsmittel) können die Ausgangsgrößen der Fahrleistungen und Besetzungsgrade von den nicht-energetischen Leitindikatoren in die Nutz- bzw. Endenergienachfrage überführt werden.

Ein solches Technologiemoell im Verkehrsbereich stellt das „Transport Emission Model“ (TREMOM) dar, das seit 1993 im Auftrag des Umweltbundesamtes durch das Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu) entwickelt wird. Ziel dieses Projektes ist die Beschreibung des motorisierten Verkehrs in Deutschland, seiner Fahrleistungen, seiner Energieverbräuche und seiner Emissionen. Dabei werden alle in Deutschland betriebenen Personenverkehrsträger (Pkw, motorisierte Zweiräder, Busse, Bahnen, Schiffe, Flugzeuge) und Güterverkehrsträger (Lkw und Zugmaschinen,

Bahnen, Schiffe, Flugzeuge) sowie der sonstige Kfz-Verkehr ab dem Basisjahr 1960 in Jahresschritten bis zum Jahr 2008 erfasst. Zusätzlich wird in einem Trendszenario eine Fortschreibung bis zum Jahr 2030 vorgenommen, wobei die räumliche Abgrenzung und die Differenzierung für alle Verkehrsträger der Modellierung mit Realdaten entspricht. Betrachtet werden der Energieverbrauch sowie Luftschadstoff- und Klimagasemissionen. Die Ergebnisse werden auf der Grundlage von sozioökonomischen Rahmendaten, Fahr- und Verkehrsleistungen, Auslastungsgraden, technischen Eigenschaften der Bestände sowie spezifischen Energie- und Emissionsfaktoren verschiedener Technologien berechnet. Neben den direkten Emissionen am Fahrzeug einschließlich der Verdunstungsemissionen werden auch diejenigen Emissionen bilanziert, die in der energetischen Vorkette entstehen. Hierzu gehören Förderung und Transport der Primärenergieträger, Umwandlung in Kraftwerken und Raffinerien sowie Transport bis zum Stromabnehmer bzw. zur Tankstelle (ifeu 2010).

TREMODO beinhaltet damit neben einem Äquivalent zum Technologiemodell HEAT, das eine nichtenergetische Dienstleistung über einen Technologiemix in die Nachfrage nach einer begrenzten Zahl an Endenergieträgern umsetzt, durch die Berücksichtigung der energetischen Vorkette auch bereits Elemente einer umfassenden lebenszyklusweiten Umweltwirkungsanalyse. Nicht berücksichtigt werden dabei bisher Aspekte der Ressourcenschonung sowie ökobilanzielle Betrachtungen von technischer Infrastruktur wie Verkehrswege, Fahrzeugherstellung oder Batterieherstellung für elektrische Antriebe.

## **Ernährung**

Auch im Bedarfsfeld „Ernährung“ lässt sich das zuvor schon beschriebene Prinzip der Upstream-Modellierung (von der Nachfrage nach einer originären Dienstleistung bis zur Bereitstellung von Primärenergie bzw. Ressourcen) grundsätzlich anwenden: Durch die Nachfrage nach Lebensmitteln werden alle damit verbundenen Nachfrageschritte wie Verkehrsleistungen, Verpackungen, Kocheinsätze bis zur Gewinnung der Rohstoffe ausgelöst. Insofern lassen sich sowohl Energie- als auch Ressourceneinsätze auf spezifische Dienstleistungs- bzw. Serviceeinheiten (etwa die Deckung des täglichen Kalorienbedarfes eines Erwachsenen) beziehen.

Ein mit HEAT oder TREMOD vergleichbares differenziertes Technologiemodell ist hier dagegen nicht verfügbar, aber auch weniger relevant: Die Notwendigkeit, die Nachfrage nach einer nicht-energetischen Dienstleistung zu ermitteln und in energetische Kennwerte umzusetzen, besteht hier nur für die Lagerung und Zubereitung von Nahrungsmitteln in privaten Haushalten, die voraussichtlich nur einen geringen Anteil an den lebenszyklusweiten Umweltauswirkungen von Nahrungsmitteln haben. Hierbei ist die Nachfrage nach der Dienstleistung „Bereitstellung gekühlter oder erhitzter Lebensmittel“ über einen Technologiemix benötigter Haushaltsgeräte (z.B. Gas- und Elektroherde, Kühl- und Gefrierschränke, Mikrowellen, Wasserkocher, Toaster), deren Nutzungsintensitäten und Effizienzkennwerte in die Nachfrage nach Strom und Erdgas zu übersetzen. Alle weiteren Nachfragen nach Energie und Ressourcen sind dagegen von der konkreten Ausgestaltung der Herstellungsvorketten (unter Berücksichtigung verschiedener Ernährungs- und Herstellungsweisen) abhängig.

Im Vergleich zu den Bedarfsfeldern „Warmer Wohnraum“ und „Verkehr“ steht deshalb hinsichtlich der Ernährung die umfassende Berücksichtigung des LCA-Ansatzes im Vordergrund (vgl. Kapitel 4.1.3).

#### 4.1.3 Verfügbarkeit von Lebenszyklusdaten

##### Warmer Wohnraum

Für die ganzheitliche Analyse der Ressourceneffizienz ist der Fokus auf die reine Nutzungsphase zu eng. In der Regel werden bei der Bewertung von Umwelteinflüssen von Technologien zur Deckung von Bedürfnissen indirekte Einflüsse und Effekte bisher vernachlässigt – dies betrifft sowohl den reinen Gebäude-Nutzungszyklus als auch den Lebenszyklus aller verwendeten Materialien und Energieströme. Stattdessen sollten alle Lebenszyklusphasen von der Förderung der Rohstoffe bis hin zur Nachsorgungsphase (Verwertung/Rückbau/Recycling) betrachtet werden.

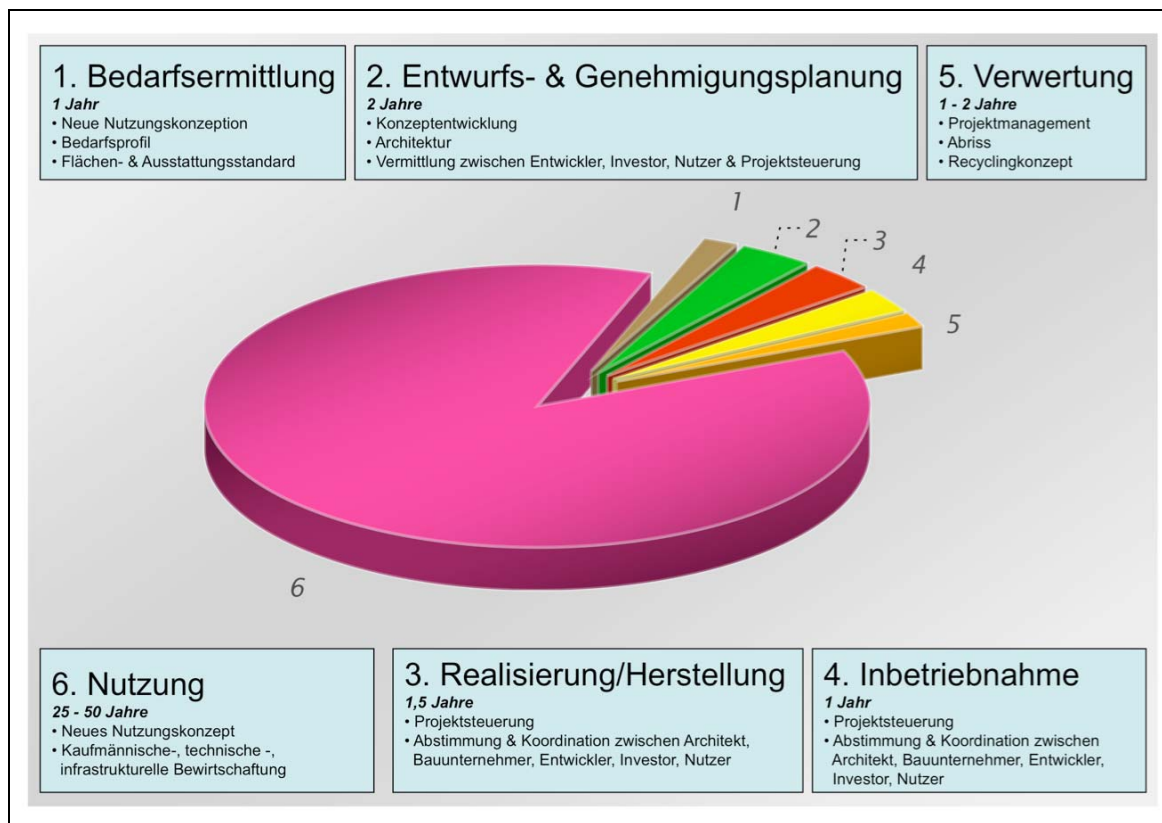
Steht die Betrachtung des Ressourcenverbrauches durch die Nutzung einer Technologie, etwa der Raumheizung, im Vordergrund, werden in der Regel zwei Aspekte damit assoziiert und in den Vordergrund gerückt:

- erstens die *direkten (Verbrauchs-)Kosten bzw. Aufwendungen* der Anwendung (Energiekosten, Technologiekosten) und
- zweitens die *Dauer* der direkten Nutzungsphase in Relation der Gesamtlebensdauer.

Vergleicht man im Bereich „Bauen & Wohnen“ die einzelnen Lebenszyklusphasen des Gebäude-Nutzungszyklus' (siehe Abb. 7), ergibt sich eine zeitliche Spreizung zwischen einem Jahr (Realisierung und Herstellung) und der Nutzungsphase von bis zu 50 Jahren. Eine solche Gewichtung der Lebenszyklusphasen ist aber nicht zwangsläufig repräsentativ für die Bewertung von Nachhaltigkeitszielen. So kann etwa die kurze Entsorgungsphase an ökologischer Bedeutung gewinnen, wenn nachhaltige Lösungen für die Verwertung von mit Fungiziden und Flammenschutzmitteln versetzten Dämmstoffen gefunden werden müssen.



Abb. 7: Lebenszyklus eines Gebäudes (sortiert nach Nutzungsart in Jahren)



Quelle: Hanke und Richter (2007)

Im Bottom-Up Wirkungsanalyse-Modell „Warmer Wohnraum“ wurde wie in Kapitel 3.2 beschrieben die Berücksichtigung von Bereitstellungs-Vorketten erreicht durch die Kopplung mit einem Stoffstrommodell. Hierdurch wurde z.B. ermöglicht, die Herstellung von Heizungssystemen und Dämmstoffen, die Vorketten der Deckung des Bedarfs an Heizstrom und Hilfsenergie in die Bilanzierung einzubeziehen – und das Untersuchungssystem so an Hand verschiedener Umweltwirkungskategorien bewerten zu können.

In dieser Bewertung wurden bisher allerdings nicht alle Bestandteile des Gebäude-Nutzungszyklus einbezogen (z.B. fehlt die Bilanzierung des Entsorgungsaufwandes und von Baumaterialien abseits der Dämmstoffe). Die Auswertung der LCA-Rechnungen hat allerdings für den bisher betrachteten Ausschnitt bereits gezeigt, dass viele Umweltwirkungen von den direkten Emissionen der Nutzung von Heizenergie (bzw. deren Einsparung) dominiert werden, während die Bereitstellungsaufwendungen für Dämmstoffe vergleichsweise gering sind. Insofern sind vor einer zukünftigen Ausweitung des zu Grunde liegenden Stoffstrommodells mögliche Hot-Spot-Bereiche für verschiedene Umweltkategorien zu identifizieren (vergleichbar z.B. mit dem Einfluss des für die Herstellung von XPS-Dämmstoffen verwendeten Treibmittels auf das Ozonabbaupotenzial des Systems), um so Untersuchungsschwerpunkte gezielt setzen zu können.



Im Rahmen der Modellierung in AS6.2 hat sich zudem gezeigt, dass die Bestimmung des Gesamtumfangs abiotischer und biotischer Ressourcenentnahme auf Basis z.B. von Sachbilanzdaten der Ökobilanz-Datenbank ecoinvent in der Software für die Ökobilanzierung nicht ausreichend verankert ist. Der Bedarf zur Harmonisierung der softwaregestützten Durchführung von Materialintensitäts- (MI) und LCA-Analysen, der hier deutlich geworden ist, besteht in gleicher Weise für alle Bedarfsfelder, in denen mit Hilfe von Stoffstrommodellen und Standard-Software für Ökobilanzen umfassende input- und output-seitige Umweltbelastungen bestimmt werden sollen.

### **Mobilität**

TREMODO beinhaltet durch die Berücksichtigung der energetischen Vorketten auch bereits Elemente einer umfassenden lebenszyklusweiten Umweltwirkungsanalyse.

Nicht berücksichtigt werden dabei bisher Aspekte der Ressourcenschonung sowie ökobilanzielle Betrachtungen von technischer Infrastruktur wie Verkehrswege, Fahrzeugherstellung oder Batterieherstellung für elektrische Antriebe. Um auch diese Elemente vollumfänglich in eine Umweltwirkungsanalyse einbeziehen zu können, ist auch hier die Kopplung eines Technologiemo­dells mit einem Stoffstrommodell möglich. Bei der Entwicklung des Stoffstrommodells kann dabei auf Datensätze für Verkehrssysteme der ecoinvent-Datenbank zurückgegriffen werden, die beispielsweise im Bereich des Personenverkehrs Sachbilanzen für PKW, Busse oder Straßenbahnen beinhaltet (vgl. ecoinvent Centre 2007). Die Verfügbarkeit von Äquivalenztechnologien in LCA-Datenbanken für die im Technologiemo­dell vorhandenen Fahrzeugbestände ist im Einzelnen zu prüfen, woraus sich gegebenenfalls Bedarf an zusätzlicher Datenerhebung (z.B. für Elektro-Pkw) ergeben kann.

Wie im Bereich „Warmer Wohnraum“ gilt auch hier, dass durch den Treibstoffbedarf der Fahrzeugflotte eine Dominanz der Nutzungsphase und hier des Treibstoffbedarfs, dessen direkter Emissionen und induzierter Materialaufwendungen zu erwarten ist. Der Nutzen von Stoffstromanalysen, die über den geschilderten Bewertungshorizont innerhalb von TREMOD hinausgehen, ist daher zunächst im Einzelnen zu prüfen.

### **Ernährung**

Die Zusammenstellung und Bewertung von Lebenszyklusdaten ist für das Bedarfsfeld „Ernährung“ essenziell und ermöglicht erst die Bestimmung aussagekräftiger Energie- und Ressourceneffizienz-Kennzahlen (z.B. MJ Primärenergieaufwand pro kg Produkt).

Die Beschreibung einer umfangreichen LCA des Bedürfnisfeldes findet sich z.B. in Öko-Institut (2005): Berücksichtigt wurden hier die Bereitstellungsvorketten und durch sie verursachte Emissionen einzelner Produkte sowie sieben verschiedener Ernährungsstile mit unterschiedlicher Wertschätzung für gesunde Ernährung und nachhaltigen Konsum, woraus sich etwa verschiedene Anteile tierischer und pflanzlicher sowie ökologisch bzw. konventionell erzeugter Produkte ergeben. Die Studie vergleicht emissionsbezogene Umweltwirkungen wie Treibhaus- und Versauerungspotenzial – Ressourcenbetrachtungen sind dagegen nicht Bestandteil der Untersuchung.

Für die Erstellung eines eigenen Stoffstrommodells könnte auch in diesem Bedarfsfeld ähnlich wie oben beschrieben vorgegangen werden. Die in einem Technologiemarkt vorgegebene Nachfrage nach Strom und Gas sowie die Bedarfe an unterschiedlichen Nahrungsmitteln könnten dabei als Eingangsgrößen mit dem Stoffstrommodell verknüpft werden. Aus der ecoinvent-Datenbank könnte hierfür auf Datensätze für die Bereitstellung von Endenergieträgern, für Verpackung, Transporte, landwirtschaftliche Produktionsprozesse und Abfallentsorgung zurückgegriffen werden.

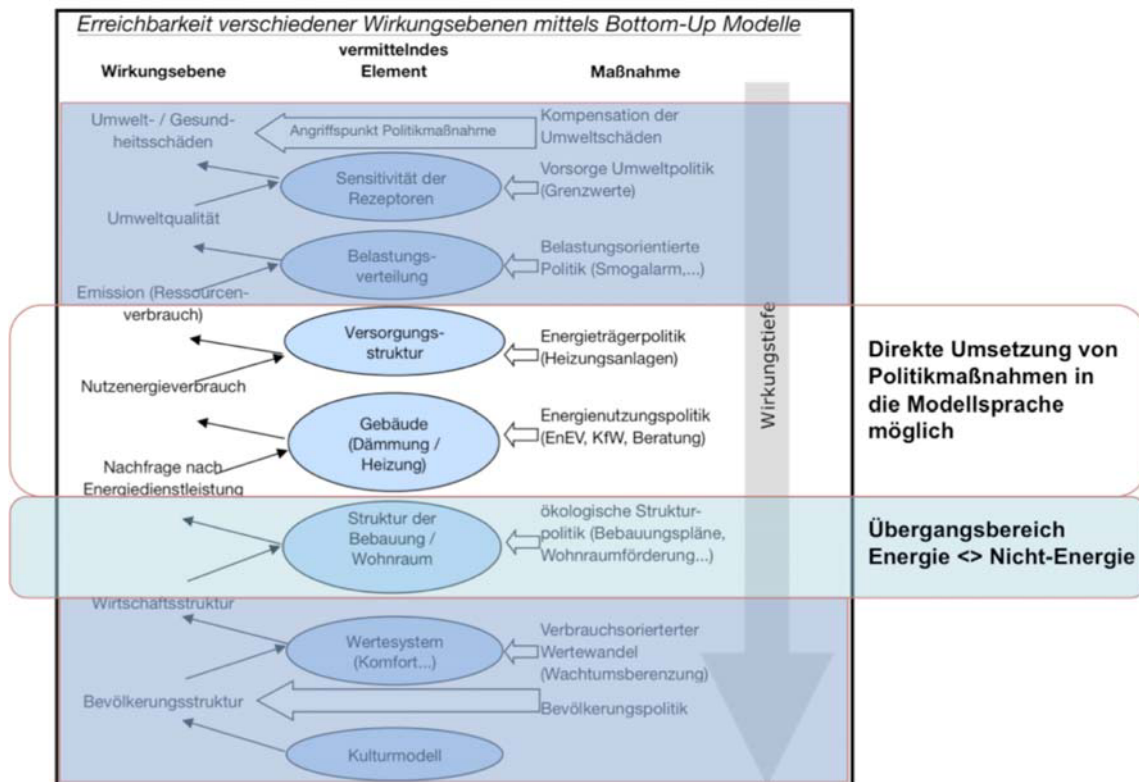
#### **4.1.4 Verfügbarkeit quantifizierbarer Politikinstrumente zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs**

##### **Warmer Wohnraum**

Sowohl der Gesetzgeber als auch die wissenschaftliche Politikberatung benötigen verlässliche Daten zur Entscheidungsfindung. Ferner sind zuverlässige Planungsinstrumente eine wichtige Voraussetzung sowohl für die Entwicklung und Planung von energieeffizienten Gebäuden (einschließlich der Sanierung bestehender Bauten) als auch für die konzeptionelle Entwicklung und Evaluierung von Maßnahmenprogrammen zur Erhöhung der Energieeffizienz im Gebäudesektor. Dabei müssen sich Politikansätze und die jeweiligen Methodenansätzen hinsichtlich der gewählten Analyseverfahren, der verfügbaren bzw. erforderlichen Daten als auch des gewählten Modellausschnitts entsprechen.

Die verschiedenen Ebenen der Eingriffstiefe am Beispiel der Raumwärme illustriert Abb. 8. So sind Maßnahmen zur Kompensation von Umweltschäden (beispielsweise die Kurierung von Krankheiten in Folge von Asbestverseuchung oder Dioxin-Belastungen durch Dämmmaterialien usw.) auf einer geringen Eingriffstiefe angesiedelt, während die Veränderung eines Komfortanspruchs (der sich etwa durch die Innentemperaturen in Gebäuden sowie die steigenden Wohnflächenbedarfe ausdrückt) über das Wertesystem zu erreichen und damit auf einer tieferen Wirkungsebene angesiedelt sind. Ein Instrumentarium zur Abbildung dieser Wirkungstiefen muss hinsichtlich des Modellausschnitts, der Methode sowie der Datenbestände angepasst sein.

Abb. 8: Wirkungsebenen von Politikinstrumenten und deren Erreichbarkeit durch Bottom-Up Modelle (hier am Beispiel des Bedarfsfeldes „Warmer Wohnraum“)



Quelle: Eigene Darstellung nach Prittwitz (1994)

Im Bedarfsfeld „Bauen & Wohnen“ sind die modellimmanenten Parametrisierungen und Schnittstellen durch entsprechende Politikfelder abgedeckt. Im Bereich von Maßnahmen und Instrumenten zur Beeinflussung der Versorgungsstruktur und der Gebäudehülle sind entsprechende Maßnahmen in Politikfeldern wie Energieträgerpolitik und Energienutzungspolitik (EnEV, KfW usw.) zu finden. Benachbarte Politikfelder, wie etwa eine ökologische Strukturpolitik, die die jeweilige Bebauungsstruktur tangiert, liegen auf Modellbereichen, die schlechter zu quantifizieren bzw. schwerer in eine Modellnomenklatur zu übertragen sind, da sie den Grenzbereich zwischen der Energieebene (hier „Warmer Wohnraum“) und der Nicht-Energieebene (Abrissrate, Wohn-Komfort usw.) betreffen.

In Hinblick auf die Anknüpfung von Ressourcenpolitikansätzen hat sich allerdings gezeigt, dass keine der von den Politik-AP des MaRes-Projekts identifizierten Optionen direkt auf den hier modellierten Bereich der Sanierung von Wohngebäuden angewendet werden konnte. Es wurde deutlich, dass hinsichtlich der Verbindung der Szenarientwicklung und der Stoffstrommodellierung mit der Konkretisierung von wohnraum-spezifischen Instrumenten weiterer Forschungsbedarf besteht. Aufgrund der Schwierigkeiten, konkrete Ressourcenziele und Instrumente zu deren Erreichbarkeit zu definieren, wurde der Rückgriff auf bestehende klimapolitische Ziele und Szenarien vorgenommen, deren in die Modellsprache übersetzbare Zielsetzung beispielsweise einer

Begrenzung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen implizit auch den Ressourcenbedarf beeinflusst.

### Mobilität & Ernährung

Die geschilderte Problematik der Umsetzung von Politikansätzen kann sich auch in gleicher oder ähnlicher Form an der Schnittstelle zu einem Bottom-Up Modell der Bedarfsfelder „Mobilität“ oder „Ernährung“ ergeben. Bei der Entwicklung von Politikansätzen sollte daher von Anfang an gemäß der Darstellung in Abb. 8 berücksichtigt werden, dass ihre Quantifizierbarkeit hinsichtlich der im Technologiemarkt verwendeten Kennzahlen gegeben ist.

Als Beispiel für eine direkt in die Modellsprache umsetzbare Modellpolitik eines Verkehrsmodells sei die Festlegung eines „Fahrplans“ für die schrittweise Einführung und Verschärfung von Verbrauchsgrenzwerten für Neufahrzeuge genannt, die sich über die Einbindung der Werte in ein Bestandsmodell direkt auf die Berechnung des zukünftigen Flottenverbrauch auswirken würde.

## 4.2 Exemplarische Parametrisierung von Bedürfnisfeldern

Tab. 2 zeigt abschließend eine exemplarische Parametrisierung der hier schwerpunktmäßig behandelten Bedarfsfelder „Warmer Wohnraum“, „Mobilität“ und „Ernährung“. Sie verdeutlicht, welche exogene Eingangsgrößen, Leitindikatoren und im Rahmen der modellhaften Abbildung der Bedürfnisfelder zur Anwendung kommen können und welche endogenen Größen jeweils ausgewiesen werden könnten.

Tab. 2: Vergleich einer (exemplarischen) Parametrisierung der Bedarfsfelder „Warmer Wohnraum“, „Mobilität“ und „Ernährung“

	Warmer Wohnraum	Mobilität	Ernährung
Exogene Eingangsgrößen (Service-Indikatoren)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bevölkerung</li> <li>• Haushaltsgrößen</li> <li>• Wohnflächen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sättigungsrate</li> <li>• Gefahrene Personenkilometer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bevölkerung</li> <li>• Haushaltsgrößen</li> </ul>
Verteilungsindikatoren; Technologie Mix(e)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Haustypenverteilung</li> <li>• Heizungsanlagen (Energienmix)-Verteilungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modal Split (MIV, ÖPNV)</li> </ul>	HZE-Index: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellungsweisen (Ökoherstellung, konventionell u.a.)</li> <li>• Zubereitungsweisen (Convenience-Produkte u.a.)</li> <li>• Ernährungsweisen (Anteile Fleisch/Fisch u.a.)</li> </ul>

<b>Spezifische (direkte) Leitindikatoren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wohnflächenspezifischer Energieverbrauch (<math>\text{kWh}/\text{m}^2</math>)</li> <li>Anlagenspezifischer Energieverbrauch (<math>\text{kWh}_{\text{OUT}}/\text{kWh}_{\text{IN}}</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flottenverbrauch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stromverbrauchsdaten für elektrische Haushaltsgeräte</li> <li>Mix aus Strom- und Gasanwendungen</li> </ul>
<b>Spezifische (indirekte) Leitindikatoren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transportaufkommen</li> <li>Primär-/Sekundärenergie</li> <li>Rahmendaten (Kraftwerksmix, REG-Anteile usw.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entwicklung von alternativen Antriebstechnologien (Diesel/Benzin/Elektro/Wasserstoff/"Bio-Fuels")</li> <li>Recyclingrate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transportaufkommen</li> <li>Kühleinsatz</li> </ul>
<b>Endogene Parameter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energieverbrauch</li> <li>Ressourcenaufkommen</li> <li>THG strukturiert nach Leitindikatoren, Gebäudetypen und Heizungsanlagenmix</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energieverbrauch</li> <li>Materialentnahmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energieverbrauch</li> <li>Ressourcenaufkommen</li> <li>THG strukturiert nach <i>Herstellungsweisen, Zubereitungsweisen, Ernährungsweisen</i></li> </ul>

Quelle: Eigene Darstellung

## 5 Fazit

Insgesamt konnte festgestellt werden, dass sich Bedarfsfelder, die sich grundsätzlich auf ihre originären Dienstleistungen zurückführen lassen und die weitgehend über empirische Annäherungen quantifizierbar sind, in die dargestellte Bottom-Up Methodik übertragen lassen. Hinsichtlich der hier untersuchten Bedarfsfelder „Mobilität“ und „Ernährung“ zeigt sich zudem, dass bereits geleistete Vorarbeiten und Entwicklungen (von Indikatoren und Modellen) im Mobilitätsbereich für die Übertragbarkeit des Bottom-Up Wirkungsanalyse-Modells aus MaRes AS6.2 förderlich sind, während im Bedarfsfeld „Ernährung“ entsprechend mit einem Zusatzaufwand für die Bestimmung von Indikatoren und die Entwicklung von Modellen zu rechnen ist.

Für die erfolgreiche Bestimmung der Auswirkungen von Politikmaßnahmen sowohl auf LCA-typische Wirkungsindikatoren als auch auf den stofflichen Materialverbrauch ist grundsätzlich die Harmonisierung der softwaregestützten Durchführung von MI- und LCA-Analysen wesentlich für alle Bedarfsfelder. Eine weitere Herausforderung besteht zudem Bedarfsfeld-übergreifend darin, die Wirkung von Ressourcenpolitikansätzen zu quantifizieren und diese so innerhalb quantitativer Modelle nutzbar zu machen.

Zukünftig sollten zudem grundsätzlich (und insbesondere im hier betrachteten Bedürfnisfeld „Ernährung“) vollständige Lebenszyklen des Ressourcen- und Energiebedarfs bilanziert werden. Dies entspräche einer Erweiterung des bisherigen Blickwinkels, der sich meist nur auf den direkten Energiebedarf richtet und weder die Ressourcen noch die Vorketten zur Bereitstellung von Energie und Ressourcen mit einbezieht.

## 6 Literatur

- Acosta-Fernandez, José / Bleischwitz, Raimund / Krause, M. / Ritthoff, Michael / Scharp, M. / Stürmer, M. / Wilts, Henning et al. (2009): Verbesserung von Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung; Teilvorhaben 1: Potenzialermittlung, Maßnahmenvorschläge und Dialog zur Ressourcenschonung, Forschungsprojekt von Wuppertal Institut und Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung im Auftrag des Umweltbundesamtes; Berlin.
- DIN (2006a): Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006)
- DIN (2006b): Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitung (ISO 14044:2006)
- DIW [Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung] (2009): Verkehr in Zahlen 2008/2009. Im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS).
- Ecoinvent Centre (2007): Transport Services – ecoinvent report No. 14; Villigen/Uster
- Enquete-Kommission (1995): Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des 12. Deutschen Bundestages (Hrsg.). Bonn.
- Guinée, Jeroen B. (Hrsg.) (2002): Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards; Band 7; Eco-efficiency in industry and science; Dordrecht u.a.: Kluwer Academic Publishers
- Hanke, Thomas / Richter Klaus (2007): Bewertung von CO<sub>2</sub>-Reduktions-Szenarien – Teilbericht: Datengrundlage zukünftiger Klimaschutzberichte; Endbericht an das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung; Bonn.
- ifeu (2010): Fortschreibung und Erweiterung: Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030 (TREMOT, Version 5); Endbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes; Heidelberg.
- Mötzel, Hildegund; Zelger, Thomas (2000): Ökologie der Dämmstoffe; Grundlagen der Wärmedämmung, Lebenszyklusanalyse von Wärmedämmstoffen, Optimale Dämmstandards. IBO-Österreichisches Institut für Baubiologie und – Ökologie Donau-Universität Krems, Zentrum für Bauen und Umwelt (Hrsg.). Springer Wien New York.
- Öko-Institut (2002): Nachhaltige Stadtteile auf innerstädtischen Konversionsflächen: Stoffstromanalyse als Bewertungsinstrument. [www.oeko.de/service/cities](http://www.oeko.de/service/cities) Freiburg.
- Öko-Institut (2005): Umweltauswirkungen von Ernährung – Stoffstromanalysen und Szenarien; Darmstadt/Hamburg.
- Prittwitz, Volker von; Wegrich, Kai; Bratzel, Stefan; Oberthür, Sebastian (1994): Politikanalyse, Opladen (Leske+Budrich/UTB 1707).
- Wallbaum, H. (2002): Denk- und Kommunikationsansätze zur Bewertung des nachhaltigen Bauens und Wohnens. Ein Beitrag zur Erfassung des gegenwärtigen Standes der Diskussion und zur Anwendbarkeit auf ein konkretes Beispiel. Dissertation.
- Woitowitz, Axel (2007): Auswirkung einer Einschränkung des Verzehrs von Lebensmitteln tierischer Herkunft auf ausgewählte Nachhaltigkeitsindikatoren – dargestellt am Beispiel konventioneller und ökologischer Wirtschaftsweisen; Dissertation; München.
- Wuppertal Institut (2000): Lehmann, Harry ; Stanetzky, Christoph. Stoffströme beim Modernisieren : Einsparpotenzial, Konstruktionsvergleiche, Rechenbeispiele. - Aachen : Landesinstitut für Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen, (2000). S. 255



Wuppertal Institut (2003): Meier, Stefan; Rohn, Holger; Orbach, Thomas; Busch, Timo; Rey, Uwe: Entwicklung von Einführungskonzepten für die Ressourceneffizienz-Rechnung : Ergebnisbericht - Grundlagen der organisatorischen Einbindung der Ressourceneffizienz-Rechnung. - Wuppertal : Wuppertal Inst. für Klima, Umwelt, Energie.